This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

$B 259 080

Sammlung Göschen

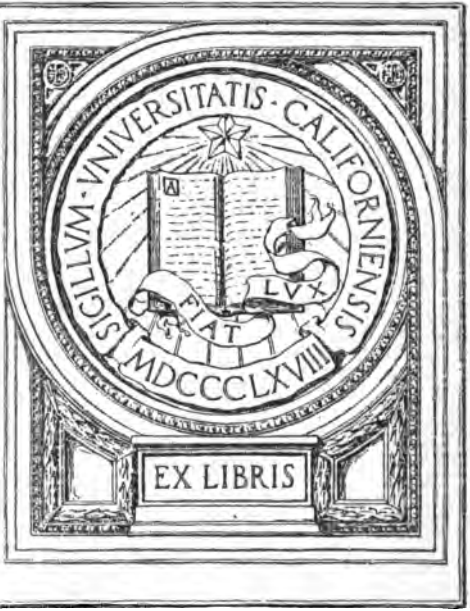
Meteorologie

von

Prof. Dr. Wilhelm Trabert

Mit 49 Abbildungen
und 7 Tafeln

IN MEMORIAM
Richard M. Holman



Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Brant. Hans Sachs und Johann Fischart nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgew. u. erläut. v. Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.

Buchführung. Lehrgang der einfachen u. dopp. Buchhaltung von Rob. Stern, Oberlehrer der Öff. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule z. Leipzig. Mit vielen Formularen. Nr. 115.

Buddha von Professor Dr. Edmund Hardy in Bonn. Nr. 174.

Burgenkunde, Abriß der, v. Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbildungen. Nr. 119.

Chemie, Allgemeine und physikalische, von Dr. Max Rudolphi, Doz. a. d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Figuren. Nr. 71.

— **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Waldhof. Nr. 87.

— — siehe auch: Metalloide.

— **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Waldhof. Nr. 88.

— **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.

— — III: Karbocyklische Verbindungen. Nr. 193.

— — IV: Heterocyklische Verbindungen. Nr. 194.

Chemisch-Technische Analyse von Dr. G. Lunge, Prof. an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.

Cid, Der. Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen von Bivar. Von J. G. Herder. Hrsg. u. erläutert von Prof. Dr. E. Naumann in Berlin. Nr. 36.

Dampfkessel, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 67 Fig. Nr. 9.

Dampfmaschine, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch m. Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 48 Fig. Nr. 8.

Dichtungen a. mittelhochdeutscher Frühzeit. In Auswahl m. Einltg. u. Wörterb. herausgegeb. v. Dr. Herm. Jantzen in Breslau. Nr. 137.

Dietrichepen. Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Prof. an der Universität Münster. Nr. 10.

Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymn. u. a. d. Realanst. in Ulm. Mit 68 Fig. Nr. 87.

— Repetitorium u. Aufgabensammlung z. Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymnasium und an der Realanstalt in Ulm. Mit 42 Figuren. Nr. 146.

Eddalieder mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilh. Ranisch, Gymnasial-Oberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.

Eisenhüttenkunde von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Tafeln. Nr. 152.

— II. Teil: Das Schmiedeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

Elektrizität. Theoret. Physik. III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Professor a. d. Univers. Wien. Mit 33 Abbildungen. Nr. 78.

Elektrotechnik. Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor der Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 47 Fig. Nr. 196.

— II: Die Gleichstromtechnik. Mit 74 Figuren. Nr. 197.

— III: Die Wechselstromtechnik. Mit 109 Figuren. Nr. 198.

Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht von Dr. A. Nippoldt jr., Mitgl. des Kgl. Preuß. Meteorolog. Inst. zu Potsdam. Mit 14 Abbild. und 3 Tafeln. Nr. 175.

Ethik von Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.

Fernsprechwesen, Das, von Dr. Ludwig Rellstab in Berlin. Mit 47 Figuren und 1 Tafel. Nr. 155.

Sammlung Göschen. Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Filzfabrikation. Textil-Industrie II. Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Finanzwissenschaft v. Geh. Reg.-Rat Dr. R. van der Borght in Friedenau-Berlin. Nr. 148.

Fischart, Johann. Hans Sachs u. Joh. Fischart nebst e. Anh.: Brant u. Hutten. Ausgewählt u. erläut. von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.

Fischerei und Fischzucht v. Dr. Karl Eckstein, Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.

Formelsammlung, Mathemat., u. Repetitorium d. Mathematik, enth. die wichtigsten Formeln u. Lehrsätze der Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen u. sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie d. Ebene u. d. Raumes, d. Different.- u. Integralrechn. v. O. Th. Bürklen, Prof. a. Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig. Nr. 51.

— **Physikalische,** von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.

Forstwissenschaft v. Dr. Ad. Schwappach, Professor an d. Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstl. Versuchswesens. Nr. 106.

Fremdwort, Das, im Deutschen v. Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 55.

Gardinenfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.

Geodäsie von Dr. C. Reinhertz, Professor an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 66 Abbild. Nr. 102.

Geographie, Astronomische, von Dr. Siegm. Günther, Professor a. d. Technischen Hochschule München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.

— **Physische,** von Dr. Siegmund Günther, Professor an der Kgl. Technischen Hochschule in München. Mit 32 Abbildungen. Nr. 26.

— siehe auch: Landeskunde — Länderkunde.

Geologie v. Professor Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. und 4 Tafeln mit über 50 Fig. Nr. 13.

Geometrie, Analytische, d. Ebene von Professor Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 57 Fig. Nr. 65.

— **Analytische, des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 28 Abbildungen. Nr. 89.

— **Darstellende,** v. Dr. Rob. Haußner, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. I. Mit 110 Figuren. Nr. 142.

— **Ebene,** von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarb Figuren. Nr. 41.

— **Projektive,** in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 85 zum Teil zweifarb. Figuren. Nr. 72.

Geschichte, Bayerische, von Dr. Hans Ockel in Augsburg. Nr. 160.

— **des Byzantinischen Reiches** von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.

— **Deutsche, im Mittelalter** (bis 1500) von Dr. F. Kurze, Oberl. am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 33.

— **Französische,** von Dr. R. Sternfeld, Prof. a. d. Univers. in Berlin. Nr. 85.

— **Griechische,** von Dr. Heinrich Swoboda, Prof. an der deutschen Universität Prag. Nr. 49.

— **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Professor an der Universität München. Mit 6 Bildern und 1 Karte. Nr. 43.

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Geschichte Oesterreichische, I: Von der Urzeit bis 1526 von Hofrat Dr. Frz. v. Krones, Professor an der Universität Graz. Nr. 104.

— — **II:** Von 1526 bis zur Gegenwart v. Hofrat Dr. Frz. v. Krones, Prof. an der Univ. Graz. Nr. 105.

— **Römische,** neu bearb. v. Realgymnasialdirektor Dr. Jul. Koch. Nr. 19.

— **Russische,** von Dr. Wilhelm Reeb, Oberlehrer am Ostergymnasium in Mainz. Nr. 4.

— **Sächsische,** von Prof. Dr. Otto Kaemmel, Rektor des Nicolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.

— **Schweizerische,** von Dr. K. Dändliker, Professor an der Universität Zürich. Nr. 188.

— **der Malerei** siehe: Malerei.

— **der Musik** siehe: Musik.

— **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.

— **der deutschen Sprache** siehe: Grammatik, Deutsche.

Gesundheitslehre. Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberrealschuldirektor in Freiburg i. B. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.

Gewerbewesen von Werner Sombart, Professor an d. Universität Breslau. I. II. Nr. 203. 204.

Gletscherkunde von Dr. Fritz Machaček in Wien. Mit 5 Abbildungen im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.

Götter- und Heldensage, Griechische und römische, von Dr. Herm. Steuding, Professor am Königl. Gymnasium in Wurzen. Nr. 27.

— siehe auch: Heldensage. — Mythologie.

Gottfried von Straßburg. Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach u. Gottfried v. Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am kgl. Friedrichskollegium zu Königsberg in Pr. Nr. 22.

Grammatik, Deutsche, und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Prof. Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.

— **Griechische, I:** Formenlehre von Dr. Hans Meltzer, Prof. an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 117.

— — **II:** Bedeutungslehre und Syntax von Dr. Hans Meltzer, Prof. a. d. Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 118.

— **Lateinische.** Grundriß der lateinischen Sprachlehre von Professor Dr. W. Votsch, Magdeburg. Nr. 82.

— **Mittelhochdeutsche.** Der Nibelunge Nôt in Auswahl und Mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Professor an der Universität Rostock. Nr. 1.

— **Russische,** von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 66.

— — siehe auch: Russisches Gesprächsbuch, — Lesebuch.

Handelskorrespondenz, Deutsche, von Prof. Th. de Beaux, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 182.

— **Französische,** von Professor Th. de Beaux, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 183.

Harmonielehre von A. Halm. Mit vielen Notenbeilagen. Nr. 120.

Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Kgl. Friedrichskollegium zu Königsberg in Pr. Nr. 22.

Hauptliteraturen, Die, d. Orients von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. I. II. Nr. 162. 163.

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Heldensage, Die deutsche, von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Professor a. d. Universität Münster. Nr. 32.

— siehe auch: Götter- und Heldensage. — Mythologie.

Herder, der Cid. Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen v. Bivar. Herausg. und erläutert von Prof. Dr. Ernst Naumann in Berlin. Nr. 86.

Hutten. Hans Sachs und Johann Fischart nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt u. erläut. von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr 24.

Industrie, Anorganische Chemische v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I.: Die Leblancsodaindustrie u. ihre Nebenzweige. Mit 12 Tafeln. Nr. 205.

— — II.: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie u. Verwandtes. Mit 6 Tafeln. Nr. 206.

— — III.: Anorganische Chemische Präparate. Mit 6 Tafeln. Nr. 207.

Integralrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymnasium und an der Realanstalt in Ulm. Mit 89 Figuren. Nr. 83.

— Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Frdr. Junker, Professor am Realgym. und an der Realanstalt in Ulm. Mit 50 Figuren. Nr. 147.

Kartenkunde, geschichtlich dargestellt von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Lussinpiccolo und F. Sauter, Professor am Realgymnasium in Ulm, neu bearb. von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft f. Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abb. Nr. 80.

Kirchenlied, Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen v. Professor G. Berlit, Oberl. am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Klimalehre von Professor Dr. W. Köppen, Meteorologe d. Seewarte Hamburg. Mit 7 Tafeln und 2 Figuren. Nr. 114.

Kolonialgeschichte von Dr. Dietrich Schäfer, Professor der Geschichte a. d. Universität Berlin. Nr. 156.

Kompositionslehre. Musikalische Formenlehre von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

Körper, Der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberrealschuldirektor in Freiburg i. B. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbild. u. 1 Tafel. Nr. 18.

Kristallographie von Dr. W. Bruhns, Professor an der Universität Straßburg. Mit 190 Abbild. Nr. 120.

Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.

— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.

Kultur, Die, der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 189.

Kulturgeschichte, Deutsche, v. Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

Künste, Die graphischen, von Carl Kampmann, Fachlehrer an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 8 Beilagen und 40 Abbildungen. Nr. 75.

Kurzschrift. Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einigungs-System Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Lesestücken und einem Anhang von Dr. Amsel, Oberlehrer des Kadettenhauses in Oranienstein. Nr. 86.

Länderkunde von Europa von Dr. Franz Heiderich, Professor am Franz-Josefs-Gymnasium in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Länderkunde der außereuropäischen Erdteile von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textkärtchen und Profilen. Nr. 63.

Landeskunde von Baden von Prof. Dr O. Kienitz in Karlsruhe. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 199.

— **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 176.

— **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen und Dänemark) v. Heinr. Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbild. und 1 Karte. Nr. 202.

— **des Königreichs Württemberg** v. Dr. Kurt Hassert, Professor der Geographie an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 157.

Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert. Kulturhistor. Erläuterungen zum Nibelungenlied und zur Kudrun. Von Professor Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. Mit 1 Tafel und 30 Abbildungen. Nr. 98.

Lessings Emilia Galotti. Mit Einleitung und Anmerkungen von Oberlehrer Dr. Botsch. Nr. 2.

— **Minna v. Barnhelm.** Mit Anmerkungen v. Dr. Tomaschek. Nr. 5.

— **Nathan der Weise.** Mit Anmerkungen von den Professoren Denzel und Kraz. Nr. 6.

Licht. Theoret. Physik. II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gust. Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

Literatur, Althochdeutsche, mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Th. Schauffler, Professor am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.

Literaturdenkmale des 14. u. 15. Jahrhunderts. Ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Jantzen in Breslau. Nr. 181

Literaturen, Die, des Orients. I. Teil: Die Literaturen Ostasiens und Indiens von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 162.

— — II. Teil: Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent a. d. Universität Wien. Nr. 163.

Literaturgeschichte, Deutsche, von Dr. Max Koch, Professor an der Universität Breslau. Nr. 31.

— **Deutsche, der Klassikerzeit** von Dr. Carl Weitbrecht, Prof. an der Technischen Hochschule Stuttgart Nr. 161.

— **Deutsche, d. 19. Jahrhunderts** von Dr. Carl Weitbrecht, Prof. a. der Technischen Hochschule Stuttgart. I. II. Nr. 134. 135.

— **Englische,** von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.

— **Griechische,** mit Berücksichtigung der Geschichte der Wissenschaften von Dr. Alfred Gercke, Professor an der Universität Greifswald Nr. 70.

— **Italienische,** von Dr. Karl Voßler, a. d. Universität Heidelberg Nr. 125.

— **Portugiesische,** von Dr. Karl v. Reinhardstoettner, Professor an der Kgl. Technischen Hochschule in München. Nr. 213.

— **Römische,** von Dr. Hermann Joachim in Hamburg. Nr. 52.

— **Russische,** von Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.

— **Spanische,** von Dr. Rudolf Beer in Wien. I. II. Nr. 167. 168.

Logarithmen. Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für Logarithm und trigonometr. Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr Herm. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 81

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Logik. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Figuren. Nr. 14.

Luther, Martin, Thomas Murner u. d. Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig Nr. 7.

Magnetismus. Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 33 Abbildungen. Nr. 78.

Malerei, Geschichte der, I. II. III. IV. V. von Dr. Rich. Muther, Prof. an der Universität Breslau. Nr. 107—111.

Maschinenelemente, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Fr. Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.

Mechanik. Theoretische Physik. I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an d. Univ. Wien. Mit 19 Abb. Nr. 76.

Meereskunde, Physische, von Dr. Gerh. Schott, Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.

Metalloide (Anorganische Chemie, I Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.

Meteorologie von Dr. W. Trabert, Dozent a. d. Universität u. Sekretär d. k. k. Zentralanstalt f. Meteorologie in Wien. Mit 49 Abb. u. 7 Tafeln. Nr. 54.

Mineralogie von Dr. R. Brauns, Professor an der Universität Gießen. Mit 130 Abbildungen. Nr. 29.

Minnesang und Spruchdichtung. Walther v. der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkungen u. einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule u. a. d. Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

Morphologie, Anatomie u. Physiologie der Pflanzen. Von Dr. W. Migula, Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

Murner, Thomas. Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt u. mit Einleitungen u. Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberl. a. Nikolaigymn. zu Leipzig. Nr. 7.

Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen, von Dr. A. Möhler. Mit zahlreichen Abbild. und Musikbeilagen. Nr. 121.

Musikalische Formenlehre (Kompositionslehre) von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

Musikgeschichte des 19. Jahrhunderts von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164. 165.

Mythologie, Deutsche, von Dr. Friedrich Kauffmann, Professor an der Universität Kiel. Nr. 15.

— siehe auch: Götter- u. Heldensage. — Heldensage.

Nautik. Kurzer Abriß des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigations-Schule zu Lübeck. Mit 56 Abbildungen. Nr. 84.

Nibelunge, Der, Nöt in Auswahl und Mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Professor an der Universität Rostock. Nr. 1.

— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.

Nutzpflanzen von Professor Dr. J. Behrens, Vorstand der Großherzl. landwirtschaft. Versuchsanstalt Augustenberg. Mit 53 Abbild. Nr 123.

Fortsetzung auf der 8. Vorsatzseite

Kleine naturwissenschaftliche Bibliothek

aus Sammlung Göschen.

Jedes Bändchen elegant in Leinwand gebunden 80 Pfg.

Astronomie von Möbius, neubearbeitet von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. Mit 36 Abbildungen und 1 Sternkarte. Nr. 11.

Astrophysik von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. Mit 11 Abbild. Nr. 91.

Astronomische Geographie von Prof. Dr. S. Günther. Mit 52 Abbild. Nr. 92.

Physische Geographie von Prof. Dr. S. Günther. Mit 32 Abb. Nr. 26.

Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht von Dr. A. Nippoldt jr. Mit Abbildungen und Karten Nr. 175.

Meteorologie von Dr. W. Trabert. Mit 49 Abbild. und 7 Tafeln. Nr. 54.

Klimalehre von Prof. Dr. W. Köppen. Mit 2 Abb. und 7 Tafeln. Nr. 114.

Physische Meereskunde von Dr. Gerhard Schott. Mit 28 Abbild. und 8 Tafeln. Nr. 112.

Die Alpen von Prof. Dr. R. Sieger. Mit 19 Abbild. und 1 Karte. Nr. 129.

Gletscherkunde von Dr. F. Machaček. Mit 5 Abbild. und 11 Tafeln. Nr. 154.

Mineralogie von Prof. Dr. R. Brauns. Mit 130 Abbildungen. Nr. 29.

Geologie von Prof. Dr. E. Fraas. Mit 16 Abbild. und 4 Tafeln. Nr. 18.

Paläontologie von Prof. Dr. R. Hoernes. Mit 87 Abbildungen. Nr. 95.

Petrographie von Prof. Dr. W. Bruhns. Mit vielen Abbild. Nr. 173.

Der menschliche Körper von E. Reßmann. Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. Nr. 18.

Urgeschichte der Menschheit von Prof. Dr. M. Hoernes. Mit 48 Abbild. Nr. 42.

Völkerkunde von Dr. M. Haberlandt. Mit 56 Abbildungen. Nr. 73.

Tierkunde von Prof. Dr. F. v. Wagner. Mit 78 Abbild. Nr. 60.

Tierbiologie von Prof. Dr. H. Simroth. 2 Bände. Mit 33 und 35 Abbildungen. Nr. 131. 132.

Schmarotzer und Schmarotzertum in der Tierwelt von Prof. Dr. F. v. Wagner. Mit 67 Abbildungen. Nr. 151.

Die Pflanze von Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.

Das Pflanzenreich von Dr. F. Reinecke und Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Figuren. Nr. 122.

Pflanzenbiologie von Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Abbild. Nr. 127.

Morphologie, Anatomie und Physiologie der Pflanzen von Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

Die Pflanzenwelt der Gewässer von Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Abbildungen. Nr. 158.

Nutzpflanzen von Prof. Dr. J. Behrens. Mit 53 Abbildungen. Nr. 123.

Allgemeine und physikalische Chemie von Dr. Max Rudolphi. Mit 22 Abbildungen. Nr. 71.

Anorganische Chemie von Dr. J. Klein. Nr. 37.

Organische Chemie von Dr. J. Klein. Nr. 38.

Theoretische Physik I. Teil: Mechanik und Akustik von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.

Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 38 Abbildungen. Nr. 78.

Sammlung Göschen

Richard M. Holman

Meteorologie

von

Dr. Wilhelm Trabert
Professor an der Universität in Innsbruck

Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln

Zweite, verbesserte Auflage
Zweiter Abdruck

Leipzig
G. J. Göschen'sche Verlagshandlung
1904

QC860
T7

Alle Rechte, insbesondere das Uebersetzungsrecht, von der Verlagshandlung vorbehalten.

IN MEMORIAM
Richard M. Holman

Druck von Carl Rembold, Heilbronn a. N.

Inhalt.

	Seite
Inhalts-Verzeichnis	5
Litteratur	7
Einleitung	9
§ 1. Begriff der Meteorologie	9
§ 2. Die Atmosphäre	10
§ 3. Bestandteile der Luft	12
§ 4. Physikalische Eigenschaften der Luft	17
§ 5. Aufgabe der Meteorologie	20
§ 6. Die meteorologischen Beobachtungsnetze	21
Die Strahlung von Sonne und Himmel	26
§ 7. Begriff der Strahlung	26
§ 8. Problem der Sonnenstrahlung	28
§ 9. Messung der Sonnenstrahlung	30
§ 10. Verteilung der Intensität auf die einzelnen Wellenlängen	34
§ 11. Die Solarkonstante	37
§ 12. Der Energieverlust in der Atmosphäre	38
§ 13. Strahlung des Himmels und der Atmosphäre	40
Die Temperatur	41
§ 14. Die Temperatur und ihre Messung	41
§ 15. Aufstellung der Thermometer; Aßmanns Aspirationspsychrometer	44
§ 16. Der tägliche Temperaturgang	46
§ 17. Mitteltemperaturen	48
§ 18. Jährlicher Gang der Temperatur	50
Wärmeverteilung über der Erdoberfläche	52
§ 19. Die Isothermen	52
§ 20. Die Mitteltemperaturen der Parallelkreise	53
§ 21. Isanomalen	55
§ 22. Abnahme der Temperatur mit der Höhe	55
Der Luftdruck	59
§ 23. Das Barometer	59
§ 24. Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe	61
§ 25. Luftdruckverteilung	63
§ 26. Täglicher und jährlicher Gang des Luftdrucks	64
§ 27. Schwingungen der Atmosphäre	66
Bewegungserscheinungen der Atmosphäre	69
§ 28. Windmessung	69
§ 29. Bewegende Kräfte	70

921884

Seite

§ 30. Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre 71
§ 31. Periodische Aenderungen der Windrichtung und Stärke . 74
§ 32. Lokale Winde 76
§ 33. Cyklonen und Anticyklonen 78

Feuchtigkeit.

§ 34. Absolute und relative Feuchtigkeit 85
§ 35. Psychrometer und Hygrometer 88
§ 36. Verdampfung 89
§ 37. Periodische Aenderungen im Feuchtigkeitsgehalte der Luft und die Abnahme desselben mit der Höhe 91

Bewölkung.

§ 38. Kondensation 93
§ 39. Wolkenformen 95
§ 40. Wolkenbeobachtungen 99
§ 41. Verteilung der Bewölkung 101

Niederschlag.

§ 42. Regenmesser 102
§ 43. Arten des Niederschlags 105
§ 44. Verteilung und periodische Aenderung des Niederschlags . 107
§ 45. Thau und Reif 110

Luftelektrizität.

§ 46. Begriff der Luftelektrizität 111
§ 47. Beobachtungsthatsachen 114
§ 48. Gewitterelektrizität, Blitz und Elmsfeuer 117

Atmosphärische Lichterscheinungen 119
§ 49. Tageslicht, blaue Farbe des Himmels, Dämmerung . . 119
§ 50. Ringe, Höfe, Neben-Sonnen und -Monde, Purpurlicht, Bishop'scher Ring, leuchtende Wolken 121
§ 51. Der Regenbogen 126
§ 52. Das Polarlicht 128

Wetterprognose 129
§ 53. Grundlage der wissenschaftlichen Prognose 129
§ 54. Das Wetter bei verschiedener Druckverteilung . . . 130
§ 55. Die Prognose und ihr gegenwärtiger Stand . . . 133
§ 56. Kosmische Einflüsse auf das Wetter 135

Bedeutung der Atmosphäre für unsere Erde 136
§ 57. Bedeutung der Atmosphäre und ihrer Zusammensetzung für das Leben der Tiere und Pflanzen 136
§ 58 Bedeutung der Atmosphäre im Energiehaushalte der Erde . 139
§ 59. Beeinflussung des Wetters durch die Menschenhand . . 141

Litteratur.

Lehrbücher der Meteorologie.

R. H. Scott: Elementare Meteorologie. Uebersetzt von W. von Freeden. Leipzig, Brockhaus 1884. Allgemein verständliches Lehrbuch der Meteorologie.

H. Mohn: Grundzüge der Meteorologie. Berlin, D. Reimer. Fünfte Auflage 1898. Gleichfalls populär geschrieben.

J. Hann: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig, Tauchnitz 1901. Ausführliche, streng wissenschaftliche Darstellung des Gegenstandes.

W. J. van Bebber: Lehrbuch der Meteorologie. Stuttgart 1890.

A. Sprung: Lehrbuch der Meteorologie. Hamburg, Hoffmann und Campe 1885. Streng wissenschaftlich gehalten: behandelt die einzelnen Probleme mathematisch.

Wetterlehren.

R. Abercromby: Das Wetter. Deutsch von J. M. Pernter. Freiburg, Herder 1894. Behandelt in gemeinverständlicher Sprache die Lehre vom Wetter, insbesondere die Wetterprognose auf Grund der Wetterkarten und der gewöhnlichen Wetterregeln.

W. J. van Bebber: Handbuch der ausübenden Witterungskunde. 2. Bände. Stuttgart 1885. Ausführliches Lehrbuch der Prinzipien der modernen Wetterlehre mit eingehender Behandlung aller Versuche, einen kosmischen Einfluß auf das Wetter nachzuweisen.

— Die Wettervorhersage. 2. Aufl. Stuttgart, 1898. Eine gemeinverständliche Anleitung zum Verständnis und Gebrauch der modernen Wetterkarten.

Lehrbücher der Klimatologie.

J. Hann: Handbuch der Klimatologie. 2. Aufl. Stuttgart, Engelhorn 1897.

W. Koeppen, Klimalehre. (Sammlung Göschen Nr. 114.) Leipzig, G. J. Göschen'sche Verlagshandlung.

A. Woeikof: Die Klimate der Erde. Jena, Costenoble 1887.

Anleitung zu praktischen Beobachtungen.

Jelinek-Hann: Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen. 4. Aufl. Wien 1893. Leipzig, W. Engelmann.
I. Teil. Anleitung zur Aufstellung und Ablesung der Instrumente, mit Muster-Beobachtungsbogen.
II. Teil. Reiche Sammlung meteorologischer Hilfstafeln.

Periodische Werke.

Meteorologische Zeitschrift. Herausgegeben von der Deutschen meteorologischen Gesellschaft und der Oest. Gesellschaft für Meteorologie. Redigiert von J. Hann und G. Hellmann. Wien, Hölzel.

Das führende meteorologische Fachjournal. Ausführliche Besprechung der neuen Litteratur. Reichhaltigste Fundgrube klimatologisch wichtiger Beobachtungen.

Das Wetter. Meteorologische Monatsschrift für Gebildete aller Stände. Herausgegeben von R. Aßmann. Berlin, Otto Salle. Populäre Zeitschrift.

Kartensammlungen.

J. Hann: Atlas der Meteorologie. Gotha, Perthes 1887.

A. Buchan: Report on Atmospheric Circulation. Zweiter Band des Report on the Scient Results of the Voyage of H. M. S. Challenger 1889.

Reichhaltiges Tabellenwerk für alle meteorologischen Elemente und die Beobachtungsstationen des ganzen Erdballs. Es enthält einen Atlas der Isothermen- und Isobarenkarten für jeden Monat.

Atlas international des nuages. (Internationaler Wolkenatlas. Herausgegeben im Auftrage des Komitees von H. Hildebrandsson, A. Riggenbach, L. Teisserenc de Bort. Paris, Gauthiers-Villars, 1896.

Atlas mit 18 sehr schönen, in Farben ausgeführten Wolkenbildern mit Text in 3 Sprachen (französisch, englisch, deutsch).

Wolkentafeln. 12 Bilder in Kupferlichtdruck. In Verbindung mit mehreren Fachmännern herausgegeben von Dr. Karl Singer. München, Theodor Ackermann, 1892. Gleichfalls mit deutschem, französischem und englischem Text.

Die Jahrbücher der Centralanstalten

enthalten die Beobachtungsergebnisse aller Stationen von Jahr zu Jahr. Wir nennen unter diesen Jahrbüchern jene der Centralanstalten

von Baden in Karlsruhe (Direktor Ch. Schultheiß),
„ Bayern in München (F. Erk),
„ Elsaß-Lothringen in Straßburg (H. Hergesell),
„ Oesterreich in Wien (J. M. Pernter),
„ Preußen in Berlin (W. v. Bezold),
„ Sachsen in Chemnitz (P. Schreiber),
der Schweiz in Zürich (R. Billwiller),
„ deutschen Seewarte in Hamburg (G. Neumayer),
von Württemberg in Stuttgart (L. Meyer).

Einleitung.

§ 1. Begriff der Meteorologie.

Außer der Aſtronomie wird wohl von Seiten des großen Publikums keiner Naturwiſſenſchaft ein ſo lebhaftes Intereſſe entgegengebracht, als der Meteorologie. Man wird jedoch kaum fehlgehen, wenn man dieſes Intereſſe weniger dieſer Wiſſenſchaft an und für ſich zuſchreibt, als vielmehr der mannigfachen Beziehung ihres Gegenſtands, der Atmoſphäre und deren Veränderungen, zum praktiſchen Leben. Das Wetter iſt ja nicht bloß für den Spaziergänger von Wichtigkeit, iſt für den Touriſten nicht ſelten geradezu eine Lebensfrage: der Seemann, der Landwirt hängen in ihrer ganzen Exiſtenz von den Verhältniſſen der Atmoſphäre ab.

Was aber Meteorologie eigentlich ſei, und welches ihre Aufgabe iſt, darüber ſind meiſt irrige Anſichten verbreitet. Man glaubt vielfach, Meteorologie ſei die Lehre vom Wetter und hält für ihr eigentliches Ziel die Wetterprognoſe. Thatſächlich iſt dieſer Wiſſenſchaft vielmehr die Aufgabe geſtellt, den Zuſammenhang der Erſcheinungen in unſerer Atmoſphäre aufzudecken, d. h. die in derſelben erfolgenden Veränderungen zu erklären. Meteorologie iſt, kurzgeſagt, Phyſik der Atmoſphäre. Die Lehre vom Wetter, eine beſondere Anwendung der allgemeinen meteorologiſchen Geſetze, bildet allerdings vorläufig noch einen Zweig der Meteorologie, wird aber zweifellos

gleich der Lehre vom Klima, der Klimatologie, sich im Lauf der Zeit zu einer eigenen Wissenschaft entwickeln.

§ 2. Die Atmosphäre.

Gegenstand der Meteorologie ist die Lufthülle unseres Erdballs, die Atmosphäre, nach des Aristoteles Ausdruck „Ta Meteora", die Dinge über der Erde. Was unsere Atmosphäre sei, davon konnte man sich erst eine richtige Vorstellung machen, als Toricelli den nach ihm benannten fundamentalen Versuch ausgeführt hatte.

Füllt man nämlich eine Flasche mit irgend einer Flüssigkeit bis zum Rande an, verschließt die Oeffnung mit dem Daumen, kehrt die Flasche sodann um und taucht deren Hals soweit in ein anderes mit derselben Flüssigkeit gefülltes Gefäß ein, daß die Oeffnung der Flasche unter den Spiegel der Flüssigkeit M N (Fig. 1) zu liegen kommt, so wird, auch wenn man den Daumen von der Flaschenöffnung wegzieht, kein Tropfen aus derselben ausfließen. Man erklärte diesen Vorgang durch die Annahme eines „horror vacui" (den Abscheu vor dem leeren Raum). Man glaubte nämlich, die Körper hätten das Bestreben jeden leeren Raum auszufüllen, und setzten deshalb dem Entstehen eines solchen einen Widerstand entgegen.

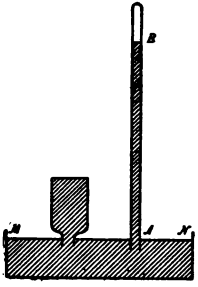


Fig. 1. Toricellis Versuch.

Diese Annahme erwies sich jedoch als ein Irrtum, der gründlich widerlegt wurde, als auf Veranlassung Toricellis Viviani im Jahre 1643 den Versuch derart abänderte, daß er statt der Flasche eine etwa 1 Meter lange, einseitig geschlossene Glasröhre und als Flüssigkeit Quecksilber anwandte.

Es zeigte sich, daß dann allerdings ein Teil des Quecksilbers aus der Röhre austrete, daß aber das in derselben verbleibende nie unter einen gewissen Stand, B (Fig. 1), etwa 76 cm über dem Niveau A des Quecksilbers, im Gefäß sinke.

Der über dem Quecksilber in B befindliche Teil der Röhre ist thatsächlich ein leerer Raum, das sogenannte Toricellische Vacuum.

Viviani gab auch die Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung, indem er die seither durch unzählige Versuche als richtig bestätigte Vermutung aufstellte, daß die Luft ein schwerer Körper sei, und daß der Druck, den die Luft auf die Flüssigkeitsoberfläche M N ausübt, die Ursache sei, daß das Quecksilber zu einer solchen Höhe in das leere Glasrohr emporgetrieben werde, bis das Gewicht der Quecksilbersäule dem Druck der Luft das Gleichgewicht zu halten vermöge.

Nehmen wir eine Röhre von 1 Quadratcentimeter Querschnitt an, so würde eine Quecksilbersäule von 76 cm Höhe, da ein Kubikcentimeter Quecksilber 13.60 Gramm wiegt, $13.60 \times 76 = 1033$ Gramm oder rund ein Kilogramm wiegen. So stark wäre also der Druck, welchen die Atmosphäre auf eine Fläche von einem Quadratcentimeter ausübt.

Ist diese Erklärung aber richtig, so schloß schon wenige Jahre nach dem Bekanntwerden des Toricellischen Versuches, übrigens, wie es scheint, auf Veranlassung von Descartes, der berühmte Mathematiker und Philosoph Pascal, dann müßte, wenn man diesen Versuch auf einem Berg anstellen würde, wo ja ein großer Teil der Atmosphäre unterhalb des Beobachters liegt, der Druck der Atmosphäre schwächer, deshalb auch die Höhe der Quecksilbersäule geringer sein.

Zur Entscheidung dieser Frage wurde von Clermont aus eine Expedition auf den Puy de Dôme unternommen. Mit

größter Spannung sah man dem von Périer, Pascals Schwager, angestellten Versuch entgegen und in der That fand man den Quecksilberstand oben um etwa 10 cm niedriger als unten in Clermont.

Durch diesen Versuch war der zweifellose Beweis geliefert, daß die Atmosphäre eine aus einem schweren Stoff bestehende Hülle bildet, die den Erdball umgiebt. Aber wie weit? Auf diese Frage werden wir erst später zu sprechen kommen.

§ 3. Bestandteile der Luft.

Ueber die eigentliche Beschaffenheit der Luft, jenes Stoffes, welcher die Hülle des Erdballs bildet, war man freilich zu Toricellis Zeiten noch ganz im Unklaren. Erst im nächstfolgenden Jahrhundert, im Jahr 1773, gelang es Scheele, den Nachweis zu liefern, daß die reine, trockene Luft aus zwei verschiedenen Gasarten bestehe, welche wir heute mit dem Namen Sauerstoff und Stickstoff bezeichnen. Wie die Beobachtungen lehren, ist die Mischung dieser beiden Gase eine sehr gleichmäßige. Fast überall und zu allen Zeiten wurde ein Verhältnis von 21 Volumteilen Sauerstoff und 79 Volumteilen Stickstoff gefunden, so daß das Gewicht eines Kubikmeters Luft etwa 1.293 Klgr. beträgt.

In neuerer Zeit haben dann Lord Rayleigh und W. Ramsay gefunden, daß das, was man bisher Stickstoff genannt hat, außer dem reinen Stickstoff noch ein anderes Gas enthält, welches Argon genannt wurde. Dasselbe macht etwa 1 Prozent des atmosphärischen Stickstoffs aus.

Außerdem zeigt die atmosphärische Luft eine Reihe anderer gasförmiger und fester Bestandteile, wenn auch in geringer Menge. In erster Linie kommt hier der Wasserdampf in Betracht, der in sehr wechselnden Mengen von

den kleinsten Werten bis zu etwa 4 Volumprozent in der Atmosphäre vorkommt.

Geringer, aber gleichfalls von hoher Bedeutung sowohl für die Veränderungen in der Atmosphäre, wie für das Leben auf der Erdoberfläche ist der Kohlensäuregehalt der Luft. Im Mittel beträgt derselbe etwa 0,03 Prozente des gesamten Volumens. Er ist größer in den Nachtstunden, kleiner im Laufe des Tages, da unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen die Pflanzen Kohlensäure zersetzen. Er ist ebenso größer bei fallender Temperatur und fallendem Luftdrucke, da dann das Austreten der Bodenluft, die durch die Zersetzung organischer Substanzen überreich an Kohlensäure ist, wesentlich gefördert ist. Auch in Städten ist der Kohlensäuregehalt naturgemäß viel größer als auf dem Lande; in London z. B. erreicht er bei nebligem Wetter 0.14 %. An manchen Orten ist derselbe oft noch weit größer: in Cigarrenfabriken ist ein Kohlensäuregehalt bis zu 0.44 % beobachtet worden.

In weit geringeren Mengen kommen in der Luft Ammoniak, Ozon und verschiedene Säuren vor. Ammoniak bildet sich bei der Zersetzung organischer Substanzen; nach neueren Beobachtungen in Montsouris entfallen davon auf den Kubikmeter Luft etwa 0.020 mgr; an manchen Orten jedoch, besonders in größeren Städten, wurden weit höhere Beträge gefunden. Durch den Niederschlag gelangt es bald wieder zum Erdboden zurück.

Noch kleiner ist der Gehalt eines Kubikmeters Luft an Ozon, einer besonderen Modifikation des Sauerstoffs, die sich unter dem Einfluß elektrischer Entladungen in der Atmosphäre bildet. Es entfallen auf 1 m^3 nur 0.014 mgr Ozon.

Ebenso bildet sich unter dem Einfluß von Blitzentladungen durch Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff, wohl

aber auch infolge der Einwirkung von Ozon auf Ammoniak bei der Zersetzung organischer Stoffe salpetrige Säure und Salpetersäure. Außerdem finden sich Spuren von schwefeliger Säure, Schwefelsäure, Wasserstoffsuperoxyd und Wasserstoff.

Unsere Atmosphäre enthält aber auch feste Bestandteile: vor allem Staub, der, wie wir später sehen werden, eine bedeutende Rolle spielt. Die Zahl der Staubteilchen ist eine ganz erstaunlich große. Selbst auf dem Lande und an der Meeresküste sind deren mehrere Tausend in einem Kubikcentimeter Luft enthalten, in Städten natürlich weit mehr, z. B. in Edinburgh bei trübem Wetter 250000 pro Kubikcentimeter. Auch auf dem Eifelturm, auf dem Rigi und Ben Nevis in Schottland wurden, wenn der Wind nicht vom Thale her wehte, mehrere Hundert Staubteilchen in dem gleichen Luftvolumen gemessen; kam der Wind aus dem Thale, so stieg auch hier deren Zahl auf viele Tausend.

Besonders stauberzeugend wirken Gasflammen. So fand man, daß in einem Zimmer, worin der Staubgehalt 426000 pro Kubikcentimeter betrug, derselbe bis zu etwa 46 Millionen stieg, als 4 Gasflammen 2 Stunden lang gebrannt hatten! Wird gar noch geraucht, so steigt der Betrag schier ins Unmeßbare; die Zahl der Staubteilchen, die ein Cigarettenraucher in einem Zuge aussendet, wird auf etwa 4000 Millionen geschätzt.

Wie war es nur möglich, diese Zahlen zu ermitteln und die Menge der Staubteilchen in einem so kleinen Luftquantum zu berechnen? Die Lösung dieses Problems ist erst vor wenigen Jahren dem englischen Physiker Aitken gelungen. Ein bestimmtes Luftvolumen kann (vergl. S. 86) bei einer gewissen Temperatur und unter einem gewissen Druck nur eine

bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Ist die Luft mit Wasserdampf „gesättigt“, so genügt eine geringe Abkühlung oder Ausdehnung, um eine Kondensation des Wasserdampfes hervorzurufen. Eigentümlicherweise aber scheidet sich dieser Wasserdampf nicht ohne weiteres aus der Luft aus, sondern schlägt sich an den Wänden des Gefäßes, worin die Luft eingeschlossen ist, oder an darin enthaltenen festen Körpern vor allem an den Staubteilchen nieder. Es genügt daher, die auf ihren Staubgehalt zu untersuchende Luft mit Wasserdampf zu sättigen und dann durch eine kleine Ausdehnung mittels einer Luftpumpe Kondensation eintreten zu lassen. Jedes Staubteilchen wird dann zu einem Kondensationskern, wächst zu einem kleinen Tröpfchen an und sinkt unter dem Einfluß der Schwere nieder. Läßt man diese Tröpfchen auf eine Platte, auf der ein Quadratmillimeternetz eingeätzt ist, oder, wie dies Aitken that, auf einen Silberspiegel fallen, so ist es nicht schwer, mit Hilfe eines Mikroskops die Zahl der Tröpfchen zu ermitteln, welche aus einer Luftsäule von bestimmter Höhe (etwa 1 cm) auf 1 Quadratcentimeter auffallen. Dies ist dann die Anzahl, welche in einem Kubikcentimer enthalten ist. Diese Zahlen sind so groß, daß die zu untersuchende Luft nicht unmittelbar in den Apparat eingeführt werden darf; man muß vielmehr zuerst einen Teil derselben mit einem größeren, aber genau bekannten Quantum reiner, vollkommen staubfreier Luft aufs innigste mischen und nun mit dieser verdünnten Staubluft die Messungen anstellen. Sonst wäre die Anzahl der Tröpfchen, welche auf ein Quadratmillimeter entfallen, so groß, daß an eine Zählung derselben nicht zu denken wäre.

Aitken hat mit diesem sinnreichen Verfahren bereits an den verschiedensten Orten Messungen unternommen, deren

Ergebnisse vollkommen übereinstimmten. Aus den hohen Ziffern, wie wir sie oben kennen lernten, kann man einen Begriff von der außerordentlichen Kleinheit dieser Staubpartikelchen gewinnen, die auch mit den besten Mikroskopen niemals wahrzunehmen wären. 100 000 Staubteilchen pro cm^3 sind in Städten gar nichts besonderes, und in manchen Wohnräumen hat Aitken noch viel größere Zahlen gefunden. Trotzdem beträgt der Staubgehalt eines Kubikmeters Luft in einem Wohnzimmer durchschnittlich nur 1.6 mgr. Hundert Staubteilchen würden hiernach noch weniger als ein Billiontel Gramm wiegen! In Fabrikräumen kommen allerdings größere Gewichtszahlen vor: in dem Putzraum eines Eisenwerks wurden 100 mgr Staub pro m^3, in einer Filzschuhfabrik 175 mgr ermittelt, und man darf annehmen, daß in solchen Räumen auch weit größere Staubteilchen vorhanden sind, welche die Luft verunreinigen.

Doch woher stammt all dieser Staub, der sich bis zu den Gipfeln unserer Berge, ja selbst auf dem Meere vorfindet? Zweifelsohne ist einerseits die Zerreibung der festen Substanzen unserer Erdoberfläche und deren Verwehung, andererseits die Thätigkeit der Vulkane, welche (vergl. S. 124) beträchtliche Mengen vulkanischen Staubs in ungeheure Höhen der Atmosphäre emporschleudern, die Hauptquelle des Staubgehalts der Luft. Nach neueren Untersuchungen, insbesondere Nordenskjölds, kommt aber auch Staub von unzweifelhaft kosmischem Ursprung in der Atmosphäre vor. Das Eindringen solcher kosmischen Staubwolken in unsere Lufthülle hat man schon unmittelbar beobachtet. Erwiesen wurde diese Annahme weiter durch die Untersuchung von Staubfällen, z. B. des am 3. Mai 1892 in Schweden niedergegangenen, der sich über ein Gebiet von etwa 1650 km Länge und 300—500 km Breite erstreckte,

wobei ein Staubniederschlag von 1—2 gr pro Quadratmeter konstatiert werden konnte. Eine besondere Art dieses kosmischen Staubs scheint der sogenannte Passat- und Polarstaub zu sein, den Nordenskjöld durch die Annahme eines Staubrings zu erklären sucht, der sich in großer Ausdehnung parallel der Aequatorebene rings um die Erde hinziehe. Von diesem Ring aus scheint ein langsamer, stetiger Staubniederschlag teils in der Gegend der Passate, teils in der Gegend des Poles stattzufinden.

Nicht so beträchtlich als die Zahl der Staubteilchen, aber immerhin recht groß ist die Zahl der die Luft bevölkernden Bakterien. Zu Montsouris und in Paris wird seit einigen Jahren der Gehalt der Luft an Bakterien gezählt, und die sich ergebenden Zahlen illustrieren deutlich den großen Unterschied zwischen Stadt und Land. Während in Montsouris nur 300 auf den Kubikmeter entfallen, beträgt ihre Zahl im Innern von Paris über 5400 auf den Kubikmeter, im Sommer sogar noch viel mehr. Im Monat August entfallen auf Paris 8256, auf Montsouris 555, während im Januar nur 3074, bezw. 185 auf 1 Kubikmeter kommen.

§ 4. Physikalische Eigenschaften der Luft.

Die atmosphärische Luft ist somit im Wesentlichen ein Gemenge von verschiedenen permanenten Gasen und Wasserdampf. Für die trockene Luft müssen daher ganz dieselben Gesetze gelten, wie für Gase überhaupt: es wird sich auch die Luft, wenn die Temperatur bei gleichbleibendem Drucke um 1° Celsius steigt, um etwa $^1/_{273}$ ihres Volumens ausdehnen, während sich ihr Volumen vergrößern oder verkleinern wird, je nachdem der Druck ab- oder zunimmt. Temperatur, Druck und Volumen stehen eben bei jedem Gas in einer ganz bestimmten,

durch das Mariotte-Gay-Luſſacſche Geſetz ausgedrückten Beziehung, ſo daß durch zwei dieſer Größen (etwa die beiden erſten) der Zuſtand des Gaſes vollkommen beſtimmt iſt. Im Allgemeinen iſt nun eine Zuſtandsänderung eines Gaſes nur durch Wärmezufuhr oder Wärmeentzug möglich, ſodaß, wenn man eine beſtimmte Wärmezufuhr eintreten läßt, dann nur noch eine der Größen willkürlich geändert werden kann. So iſt es möglich, jede Wärmezufuhr oder Abfuhr auszuſchließen und nur den Druck zu verändern. Damit iſt aber von ſelbſt eine Aenderung der Temperatur gegeben.

Wir können ſomit auch ohne Wärmezufuhr die Temperatur eines Gaſes durch bloße Vermehrung des Druckes erhöhen. Dieſes letztere Geſetz iſt für die Phyſik der Atmoſphäre von außerordentlicher Wichtigkeit. Erhöht ſich der Druck derart, daß er nicht mehr bloß einer Queckſilberſäule von 76 cm Höhe, ſondern einer ſolchen von 77 cm das Gleichgewicht halten kann, ſo ſteigt ſchon deswegen die Temperatur der trockenen Luft um 1 Grad Celſius, und ſie fällt um ebenſoviel, wenn der Druck um dieſelbe Größe, kurz ausgedrückt: „um 1 cm (oder 10 mm)“, abnimmt.

Hiermit ſind wir zu einem fundamentalen Unterſchiede zwiſchen trockener und feuchter Luft gelangt, einem Unterſchied, welcher, wie beſonders von Hann klargelegt worden iſt, in der Meteorologie eine große Rolle ſpielt. Wir haben ja geſehen, daß eine gewiſſe Menge Luft bei einer beſtimmten Temperatur nur eine gewiſſe Quantität Waſſerdampf zu faſſen vermag. Es wird alſo, ſobald wir mit Waſſerdampf geſättigte Luft abkühlen, notwendig ein Teil des Waſſerdampfs ſich ausſcheiden müſſen. Was iſt aber die Folge dieſer Condenſation des Waſſerdampfs? Die Phyſik lehrt, daß eine Ver-

dampfung des Wassers nicht möglich ist, wenn nicht eine gewisse, ziemlich beträchtliche Wärmemenge dem zu verdampfenden Wasser zugeführt wird. Rund 600 Calorien[1] sind nötig, um 1 Gramm Wasser zu verdampfen; ebensoviel Wärme wird aber auch wieder frei, wenn sich 1 Gramm Wasser aus der Dampfform kondensiert.

Lassen wir nun an Stelle der trockenen Luft ein Kilogramm feuchter, mit Wasserdampf gesättigter Luft treten und verringern wieder den Druck, ohne von außen Wärme zu- oder wegzuführen! Wird nun bei einer Druckabnahme um 10 mm die Temperatur wieder um einen Grad sinken? Keineswegs! Denn, wenn das Kilogramm gesättigter Luft sich um einen Grad abkühlt, so wird ein Teil, etwa 0.4 gr, Wasser kondensiert. Da aber bei der Kondensation von 1 gr Wasser 600 Calorien, d. h. eine Wärmemenge frei wird, welche genügt, um 1 Kilogramm Luft um 2.5 ° C zu erwärmen, so muß in dem betrachteten Kilogramm gesättigter Luft eine Wärme frei werden, welche hinreicht, um diese Luftmenge um $0.4 \times 2.5 = 1$ ° C zu erwärmen. Wenn wir nun den Fall vor uns haben, daß trotzdem durch Druckverminderung sich die Luft um 1 ° C abgekühlt hat, so war offenbar hier die doppelte Druckabnahme nötig, um diese Wirkung hervorzubringen. Bei gesättigter Luft müssen wir somit zuerst den Druck um 10 mm verringern, bloß um die bei der Kondensation frei werdende Wärme, welcher ja eine Temperaturerhöhung von einem Grad entspricht, aufzubrauchen, worauf wir zur eigentlichen Abkühlung um 1 ° noch eine weitere Druckabnahme von 10 mm also im Ganzen eine solche von 20 mm bedürfen. Dieselbe Druckabnahme vermag also bei feuchter, gesättigter Luft nur

[1] Wärmeeinheiten. 1 Calorie ist jene Wärme, die nötig ist, um 1 gr Wasser von 0° auf 1° C zu erhöhen.

eine Abkühlung um etwa den halben Betrag wie bei trockener Luft, zu erzielen. Bei sehr kalter, dampfarmer Luft ist der Unterschied viel geringer.

Erinnern wir uns an die Abnahme des Luftdrucks bei der Expedition Périers auf den Puy de Dôme! Um 100 mm war dort oben der Luftdruck geringer. Denken wir uns nun, es würde ein Luftquantum von der Erdoberfläche zur Höhe des Puy de Dôme erhoben. In Folge der Druckabnahme würde sich dasselbe, wenn es aus trockener Luft bestünde, um 10 ° C abkühlen; dagegen würde, wenn es an der Erdoberfläche gesättigt wäre, der Druckabnahme um 100 mm nur eine Abkühlung von etwa 5° C, d. i. gerade der Hälfte entsprechen. Ein Luftquantum, das vom Puy de Dôme herabgebracht würde, sei es nun trocken oder feucht, wird sich umgekehrt um 10 ° C erwärmen. Unter diesen Umständen erscheint das Vorhandensein des Wasserdampfs in unserem Luftmeere für die Dynamik der Atmosphäre von der höchsten Wichtigkeit.

§ 5. Aufgabe der Meteorologie.

Nach dem bisherigen können wir nun auch die Aufgabe der Meteorologie näher bestimmen. Wir beobachten nicht bloß örtlich, sondern auch zeitlich beträchtliche Unterschiede im Zustand der Atmosphäre. Wir beobachten Unterschiede in der Temperatur, im Druck, in der Zusammensetzung, insbesondere im Feuchtigkeitsgehalte, sowie endlich den Ortswechsel der Luft auf der Erdoberfläche. Woher kommen denn diese örtlichen Unterschiede und die Veränderungen im Laufe der Zeit? Die Auffindung ihrer Ursachen und der Gesetze, welche alle diese Unterschiede und Veränderungen bestimmen, sowie die Erforschung ihres Zusammenhangs — das ist die Aufgabe der Meteorologie.

Es ist ein allgemeines physikalisches Gesetz, daß, wo immer fortlaufend und ohne Abschwächung Veränderungen sich zeigen, eine Zufuhr von Energie von außen in Form von Wärme oder in anderer Form stattfinden muß. Nach dieser äußeren treibenden Kraft, nach dieser Urquelle aller Verwandlungen im Luftmeer werden wir auch bezüglich der Atmosphäre zu suchen haben. Der vielfach periodische Verlauf dieser Veränderungen, wie die unmittelbare sinnliche Wahrnehmung wiesen den Menschen schon in den frühesten Zeiten auf die Sonne als auf diese Energiequelle und letzte Ursache aller Veränderungen in der Atmosphäre hin.

Somit wird die Behandlung der Strahlung, anscheinend des einzigen Wegs, auf dem ein Energieaustausch zwischen Himmelskörpern möglich ist, speziell der Strahlung der Sonne, unsere erste Aufgabe sein müssen. Erst dann, wenn wir die letzte Ursache der atmosphärischen Vorgänge besprochen, können wir daran gehen, auch die Wirkungen dieser Energiezufuhr von der Sonne zu erörtern; wir können dann die Unterschiede in der Strahlung mit den Unterschieden in Temperatur und Druck in Zusammenhang bringen. Wir können ferner die Bewegungserscheinungen, den in letzter Linie gleichfalls auf Rechnung der Sonnenstrahlung zu setzenden Kreislauf des Wassers, seine Verdunstung und Kondensation, wie seine Rückkehr zur Erdoberfläche im Niederschlag erörtern, worauf wir uns zum Schluß den optischen, den elektrischen Erscheinungen und dem Wetter zuwenden werden. Bei jeder einzelnen Erscheinung wird sich uns die Frage nach dem Warum aufdrängen; auf jede derselben die Antwort zu finden, das wird einen Teil unserer Aufgabe bilden.

§ 6. Die meteorologischen Beobachtungsnetze.

Wie alle anderen Wissensfächer, so begann auch die Me-

teorologie sich zur Wissenschaft zu erheben, als die Möglichkeit gegeben war, die Veränderungen in der Atmosphäre, die den Gegenstand ihres Forschens bilden, zu messen. Bald nach der Erfindung von Barometer und Thermometer um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts wurde das erste meteorologische Beobachtungsnetz von dem Herzog Ferdinand II. von Toskana begründet. Es waren meist Privatleute, Physiker, Geistliche, Lehrer u. a., welche schon damals sich dem Beobachtungsdienste unterzogen. Auch an den Sternwarten wurden meteorologische Beobachtungen angestellt; ihnen verdanken wir unsere längsten, bis über 200 Jahre zurückreichenden meteorologischen Beobachtungsreihen und die Pflege der Meteorologie, ehe sich dieselbe noch zu einer selbständigen Wissenschaft entwickelt hatte.

Erst als die Beobachtungsnetze sich in allen Ländern erweiterten, als die Bearbeitung und Veröffentlichung der Beobachtungen die Kräfte der Sternwarten überstieg, stellte sich das Bedürfnis heraus, eigene staatliche meteorologische Centralanstalten zu begründen, welche die Stationen mit einheitlichen, geprüften Instrumenten zu versehen, deren Beobachtungen zu sammeln, zu kontrolieren, zu bearbeiten und zu veröffentlichen hätten.

Fast in allen Ländern bestehen heutzutage zahlreiche derartige Stationen, an denen 3mal im Laufe des Tages, gewöhnlich um 7 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 9 Uhr abends, entweder alle oder doch ein großer Teil der „meteorologischen Elemente", d. i. Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung, Windstärke, Bewölkung und Regen, beobachtet wird. Deutschland besitzt, abgesehen von jenen Stationen, an denen bloß Regen oder Gewitter beobachtet werden, über 300, Oesterreich an 500, die Schweiz etwa 100 meteorolo-

gische Stationen, die anderen Staaten stehen darin den genannten durchaus nicht nach. Es ist klar, daß eine so große Zahl von Stationen die Thätigkeit der meteorologischen Centralanstalten vollständig in Anspruch nimmt; deshalb hat man vielfach den Witterungsprognosen- und Sturmwarnungsdienst von dem Dienste der Centralanstalten vollständig getrennt. Aber auch für solche Beobachtungen, die teils kompliziertere Apparate, teils wissenschaftliche Vorbildung erfordern, wie die regelmäßige Beobachtung und Messung der Sonnenstrahlung, der Luftelektricität, der Polarisation des Himmelslichtes und anderer Erscheinungen, welche für die Meteorologie unerläßlich sind, verbleibt an unseren Centralanstalten leider keine Zeit.

Immer dringender ward daher das Verlangen nach eigenen meteorologischen *Beobachtungsinstituten*; Rußland besitzt in dem Observatorium zu Pawlowsk, Preußen in dem neuen, mustergiltig eingerichteten meteorologischen Observatorium in Potsdam bereits ein derartiges Institut. Auch Frankreich hat einige sehr thätige kleinere Observatorien. In Montpellier hat man regelmäßige Messungen der Sonnenstrahlung vorgenommen und in dem einzig dastehenden städtischen Observatorium in Montsouris bei Paris hat man auch regelmäßige Beobachtungen über die Zusammensetzung der Luft, ihren Gehalt an Bakterien und anderen schädlichen Beimengungen angestellt. Es ist sehr zu bedauern, daß nicht auch andere Städte derartige Observatorien besitzen.

Wollen wir jedoch auch Aufschlüsse über die Vorgänge in höheren Luftschichten erhalten, so dürfen wir uns nicht auf Beobachtungen an der Erdoberfläche, wo ja örtlicher Verhältnisse halber mannigfache Störungen unvermeidlich sind, beschränken, sondern müssen nach Möglichkeit Beobachtungen aus höheren Regionen unserer Atmosphäre zu gewinnen trachten. Man

hat sich deshalb in allen Ländern die Errichtung von Gipfelstationen angelegen sein lassen; von diesen ist diejenige auf dem Sonnblick in den Hohen Tauern (3105 m hoch), die höchste ständig bewohnte Gipfelstation Europas, welche vermöge ihrer günstigen Lage, trefflichen Einrichtung und überraschenden Ergebnisse unstreitig die erste Stelle einnimmt. Aber auch die Beobachtungen auf dem Säntis (2467 m) in der Schweiz, dem Obir (2043 m) in Kärnten, dem Pic du Midi (2877 m) und Puy de Dôme (1463 m) in Frankreich, dem Wendelstein (1728 m) in Bayern und dem Ben Nevis (1343 m) in Schottland, ja auch die auf dem nur 300 m hohen Eiffelturm in Paris haben unsere Kenntnisse der Atmosphäre merklich bereichert. Das jüngste aller Gipfelobservatorien ist jenes auf der Zugspitze (2965 m), es ist das erste, welches einen wissenschaftlich geschulten Beobachter besitzt.

Unumgänglich erforderlich ist, daß auf einer solchen Station ein ständiger Beobachter weile; niemals hätte man aus den Beobachtungen auf dem Sonnblick so mannigfache, neue und wichtige Ergebnisse zu erzielen vermocht, wenn nicht daselbst ein so tüchtiger und gewissenhafter Beobachter, wie der bekannte Peter Lechner, fast 7 Jahre hindurch jahraus jahrein die täglichen Beobachtungen angestellt und die Instrumente auf das Beste besorgt hätte. Stationen, wie die auf dem Montblanc (in 4365 m Höhe und auf dem Gipfel in 4800 m), oder die noch höheren auf dem Charcani (5080 m) und Misti (5850 m) in Peru, wo nur für kurze Zeit Beobachter weilen oder bloß selbstregistrierende Apparate ihre Aufzeichnungen machen, haben einen weit geringeren Wert. Oft versagen ja auch die besten selbstregistrierenden Apparate, und auf dem Misti geschah es, daß Indianer die wertvollen

Instrumente stahlen und so die mit vielen Kosten errichtete Station lahmlegten.

Indes werden auch Beobachtungen auf möglichst freiliegenden Berggipfeln die Verhältnisse der freien Atmosphäre nicht ganz richtig wiedergeben. Die Erhebung des Erdbodens wird ja manche Störungen mit sich bringen; man war deshalb vielfach bestrebt, die Beobachtungen auf Berggipfeln durch solche im Luftballon zu kontrollieren und zugleich Kunde aus noch höheren Schichten zu erhalten. Glaisher hat solche wissenschaftliche Fahrten, freilich mit völlig unzureichendem Instrumentarium, in England angestellt; in neuerer Zeit sind solche mit der sorgfältigsten instrumentellen Ausrüstung von Berlin aus unternommen worden. Etwa 10000 Meter ist die größte Höhe, bis zu welcher man bei künstlicher Sauerstoffatmung vordringen kann, schon in 8000 m wird der Aufenthalt für den Menschen gefährlich, wie denn Glaisher seine höchste Höhe in bewußtlosem Zustand erreichte.

Und doch hat man nicht darauf verzichten können, auch aus noch höheren Luftschichten Beobachtungen zu erlangen. In Frankreich und Deutschland hat man neuerdings dieses Ziel mit Hilfe von „Registrierballons", unbemannten, aber mit selbstschreibenden Instrumenten ausgerüsteten Ballons, zu erreichen gesucht und hiebei besten Erfolg gehabt. Bis zu 22000 Meter Höhe, woselbst der Luftdruck nur mehr etwa 5% des Luftdruckes an der Erdoberfläche betrug, sind solche Ballons schon emporgestiegen. Auch mit Hilfe von Drachen hat man selbstregistrierende Apparate in die freie Atmosphäre emporgesandt. Insbesonders in Amerika mit dem schönsten Erfolg. Beinahe 5000 m Höhe wurden hier schon von Drachen erreicht.

Die Strahlung von Sonne und Himmel.

§ 7. Begriff der Strahlung.

Wo immer ein wärmerer und ein kälterer Körper einander gegenüberstehen, beobachten wir, daß von dem ersteren auf den letzteren Wärme übergeht. In Betreff der Art, wie dieser Uebergang erfolgt, müssen wir zwei Vorgänge unterscheiden. Wir beobachten einmal, beispielsweise bei einer in einem Gefäß auf eine heiße Herdplatte gestellten Flüssigkeit, daß die von dem heißen Herde zur kälteren Flüssigkeit übergehende Wärme zuerst die dazwischenliegende Gefäßwand erwärmen muß, derart, daß eine stetige Abnahme der Temperatur von der Platte bis zur Flüssigkeit eintritt und die Wärme allmählich von Schichte zu Schichte „geleitet" wird.

Ein anderes Mal, wenn wir uns z. B. einem heißen Ofen nähern, beobachten wir einen Wärmeübergang auf unseren Körper, ohne daß deshalb die dazwischenliegende Luft eine besonders hohe Temperatur zu besitzen brauchte; ja wir können sogar ein plattenförmig gestaltetes Stück Eis zwischen uns und den Ofen einschalten: die Wärme geht ungehindert hindurch, obwohl die Temperatur des Eises Null Grad nicht übersteigt. Wir können dagegen durch Einstellung eines Metallschirmes, der vielleicht viel wärmer ist als das Eisstück und etwa die Zimmertemperatur besitzt, sofort den Uebergang der Wärme abschneiden. Hier haben wir es offenbar mit einem von dem Wärmeübergang durch „Leitung" verschiedenen Vorgang zu thun und sagen, die Wärme gehe durch „Strahlung" von dem einen Körper zum anderen über.

Besonders deutlich beobachten wir den durch Strahlung erfolgenden Wärme-Uebergang, wenn wir uns einem glühenden

Körper nähern. Wir machen hierbei die weitere wichtige Beobachtung, daß die durch Strahlung ausgesandte Wärme in enger Beziehung steht zu dem Lichte, welches der glühende Körper aussendet; daß gleich diesem auch die ausgestrahlte Wärme sich geradlinig ausbreitet, und daß die Intensität der auf die Flächeneinheit entfallenden Strahlung so wie beim Licht $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ .... wird, wenn die Entfernung um das 2-, 3-, 4-fache wächst.

Wie das Licht, läßt sich auch die Wärmestrahlung durch Metallspiegel zurückwerfen; wie dieses, wird sie von einem berußten Körper vollständig aufgesogen, wie man sich ausdrückt, „absorbiert". Kurz, sie ist vom Lichte nicht zu trennen und hat mit diesem alle Eigenschaften gemein. Nicht anders verhält es sich mit der von einem nur erhitzten, noch nicht glühenden Körper ausgestrahlten Wärme: alle Eigentümlichkeiten der Strahlen finden wir hier wieder, nur die Wirkung auf unser Auge, die Lichtwirkung, fehlt.

Die Beobachtung der Eigentümlichkeit der Lichtstrahlen, sich durch ein Glasprisma brechen und in ein farbiges, sogenanntes Spektrum verwandeln zu lassen, hat dahin geführt, unendlich viele Strahlenarten zu unterscheiden. Da nun nach den Lehren der Physik jeder Strahl in einer wellenförmigen Bewegung eines außerordentlich feinen, überall verbreiteten mutmaßlichen Stoffes, des „Aethers", besteht, so kann dieser Unterschied der Strahlen und ihrer Qualität nur durch die Länge der Wellen, welche den Strahl ausmachen, bedingt sein.

Wir haben es somit bei einem Strahle mit einer besonderen Art der Energie zu thun: mit Energie in schwingender Form. Die Menge von Energie, welche ein Strahl enthält, bestimmt seine Intensität, die Wellenlänge seine Qualität.

In ihrem Wesen sind alle Strahlen gleich, und es besteht zwischen Wärme-, Licht- und chemischen Strahlen kein wesentlicher Unterschied. Jeder Strahl wird von einem berußten Körper, auf den er fällt, aufgesogen; seine Energie verwandelt sich in Wärme. Insoferne sind alle Strahlen Wärmestrahlen. Jedoch sind nur gewisse Strahlen — jene, deren Wellenlängen zwischen 0·00036 mm (violett) und 0·00081 mm (rot) liegen — befähigt, die Netzhaut unseres Auges zu erregen, hier als Licht zu wirken und den Eindruck dieser oder jener Farbe hervorzurufen. Wiederum haben auch nur gewisse Strahlen die Eigenschaft, bei einer bestimmten Substanz chemische Veränderungen hervorzurufen.

Abgesehen von diesen durch die Wellenlänge bestimmten Unterschieden, verhalten sich alle Strahlen gleich. Hinsichtlich der Fortpflanzung, Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz der Strahlen u. s. w. gelten dieselben Gesetze, welche bezüglich der Lichtstrahlen, die wir so leicht und bequem mit unserem Auge verfolgen, allgemein bekannt sind.

Auch den leeren Raum, insoweit wir einen solchen herstellen können und insoweit ein solcher im freien Weltraume vorhanden ist, vermag die Strahlung zu durchsetzen. Für den Energieaustausch zwischen Himmelskörpern ist diese Eigenschaft somit von höchster Bedeutung; ja es scheint, daß die Strahlung überhaupt der einzige Weg ist, auf welchem ein solcher Austausch thatsächlich vor sich geht.

§ 8. Problem der Sonnenstrahlung.

Es wurde schon hervorgehoben, daß die Strahlung der Sonne die letzte Ursache aller Veränderungen in der Atmosphäre sei. Es ist aber auch nicht mehr daran zu zweifeln, daß dieser Energieaustausch in einem bedeutenden Temperatur-

gegensatz zwischen Sonne und Erde seine Erklärung findet, daß mit andern Worten die Sonne ein glühender Körper sei. Es läßt sich sogar mit einiger Sicherheit die Temperatur ihrer Oberfläche angeben, woferne es nur gelingt, die Wärme zu ermitteln, welche an der Grenze der Atmosphäre im Laufe einer Minute einem Quadratcentimeter zugeführt wird.

Die Bestimmung dieser letzteren Größe, der „Solarkonstanten", ist nun aber durchaus keine leichte Aufgabe. Wir beobachten ja die uns von der Sonne zukommende Strahlung erst, nachdem dieselbe eine beträchtliche Strecke in der Atmosphäre zurückgelegt hat; daß sie auf diesem Weg nicht ungeändert bleibt, dafür liefern die Beobachtungen auf hohen Bergen den besten Beweis. Dort, wo die Sonnenstrahlen erst einen weit kürzeren Weg in der Atmosphäre zurückgelegt haben, ist die Intensität der Strahlung unvergleichlich größer; mitten in Eis und Schnee empfindet man den Sonnenschein als eine oft geradezu unangenehme Wärme. Sollte es nun nicht möglich sein, aus dieser mit der Höhe wachsenden Intensität der Strahlung auf die Intensität an der Grenze der Atmosphäre zu schließen?

Das Problem ist also das, den Energiestrom, welcher sich von der Sonne auf unsere Erde ergießt, seinen ganzen Weg entlang zu verfolgen. Was kommt an der Grenze der Atmosphäre an? was an der Erdoberfläche? Was wird aus der Differenz längs des Weges durch die Atmosphäre? Auf jede dieser Fragen werden wir eine Antwort geben müssen; sowohl in Betreff der quantitativen Bestimmung der in dieser Strahlung der Erde zugeführten Wärmemenge, als auch der Qualität der Strahlen. Sollten sich vielleicht an der Grenze der Atmosphäre andere Wellenlängen vorfinden als unten an der Erdoberfläche? All diese Fragen müssen wir beantworten, denn erst, wenn wir die Geschichte jedes einzelnen Sonnenstrahls

auf seinem Durchgange durch die Atmosphäre kennen, ist auch die Wirkung bestimmt, die er längs seines Weges auszuüben vermag.

§ 9. Messung der Sonnenstrahlung.

Vor allem bedarf man zu diesem Zweck eines Instrumentes, mit Hilfe dessen wir die gesamte Sonnenstrahlung auffangen und messen können. Wir haben im Ruß einen Körper kennen gelernt, welcher alle Strahlen fast vollständig auffaugt. Wenn wir also ein Thermometer mit einer Rußschichte überziehen, die Sonnenstrahlen darauffallen lassen, so wird dasselbe, da sich die Energie der absorbierten Strahlen in Wärme verwandelt, steigen, und wir werden aus der Temperatursteigerung auf die Wärme schließen können, die dem Thermometer zurückgeführt wurde. Die Bestimmung der Strahlung würde in der That gar keine Schwierigkeiten bieten, wenn nicht das geschwärzte Thermometer, sobald seine Temperatur die der Umgebung übersteigt, durch Strahlung, Leitung u. s. w. Wärme an die Umgebung verlieren würde.

Man hat diese Schwierigkeit beispielsweise bei Violles Actinometer (Strahlenmesser) dadurch behoben, daß man die geschwärzte Kugel des Thermometers T T′ (Fig. 2) im Mittelpunkt einer Hohlkugel anbrachte, die durch hindurchströmendes Wasser w w auf konstanter Temperatur erhalten wird. Der Sonnenstrahlung kann in einem gegebenen Momente der Zutritt durch eine Oeffnung o gestattet werden, und man beobachtet nun die Erwärmung unter dem Einflusse erstlich der zugeführten Sonnenstrahlung, und zweitens des Wärmeverlustes an die Umgebung von konstanter, aber bekannter Temperatur. Das

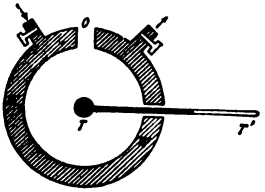


Fig. 2. Violles Actinometer.

Thermometer wird sich so lange erwärmen, bis sich die Zufuhr und der Verlust von Wärme das Gleichgewicht halten.

Es ist nun aber durchaus nicht schwer, durch eine zweite Beobachtung den Verlust an Wärme zu bestimmen. Wir brauchen nur den Zutritt der Sonnenstrahlung, wenn sich das Thermometer erwärmt hat, wieder abzusperren. Was werden wir dann beobachten? Die Temperatur des Thermometers wird langsam zu sinken beginnen, wir beobachten ja jetzt allein den Wärmeverlust an die kältere Umgebung. Kennen wir aber den letzteren, so können wir aus der Anfangsbeobachtung, bei welcher wir Einstrahlung und Verlust gemessen haben, den letzteren ausscheiden und finden so den Betrag der Strahlung auf eine bestimmte, durch den Durchmesser der Thermometerkugel gegebene Fläche.

In neuerer Zeit hat Angström ein wesentlich besseres Actinometer konstruiert. Dasselbe besteht, wie die nebenstehende Figur 3 zeigt, aus zwei geschwärzten Kupferplatten PP' deren Mittelpunkte an der Rückseite durch einen Neusilberdraht DD' verbunden sind. An den Rändern setzt sich der Draht fort und führt zu einem Galvanometer G, an dem man sofort einen Ausschlag beobachten kann, sobald auch nur ein ganz schwacher Strom durch den Draht fließt.

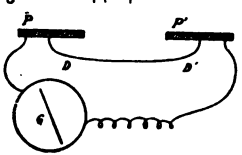


Fig. 3. Angström's Actinometer.

Es kann nun abwechselnd je eine Platte der Sonnenstrahlung ausgesetzt werden, während die andere durch einen vorgesetzten Schirm beschattet wird. Die Temperatur der ersteren wird dann wieder durch Einstrahlung und Wärmeverlust an die Umgebung bestimmt, die der letzteren allein durch den Wärmeverlust. Sobald nun die Temperatur der Platten eine ungleiche geworden ist, wird ein Thermostrom

den Draht durchfließen, und wir werden aus dem Ausschlag des Galvanometers auf die Temperaturdifferenz schließen können. Dieser Apparat, dessen Hauptvorzug darin besteht, daß gleichzeitig an der einen Platte Einstrahlung + Verlust, an der anderen der Verlust allein beobachtet wird, und daß man alle Fehlerquellen genau in Rechnung ziehen kann, gestattet, die Sonnenstrahlung mit großer Genauigkeit zu messen. In Pawlowsk und Katharinenburg wurden schon mit einem derartigen Apparat Beobachtungen angestellt.

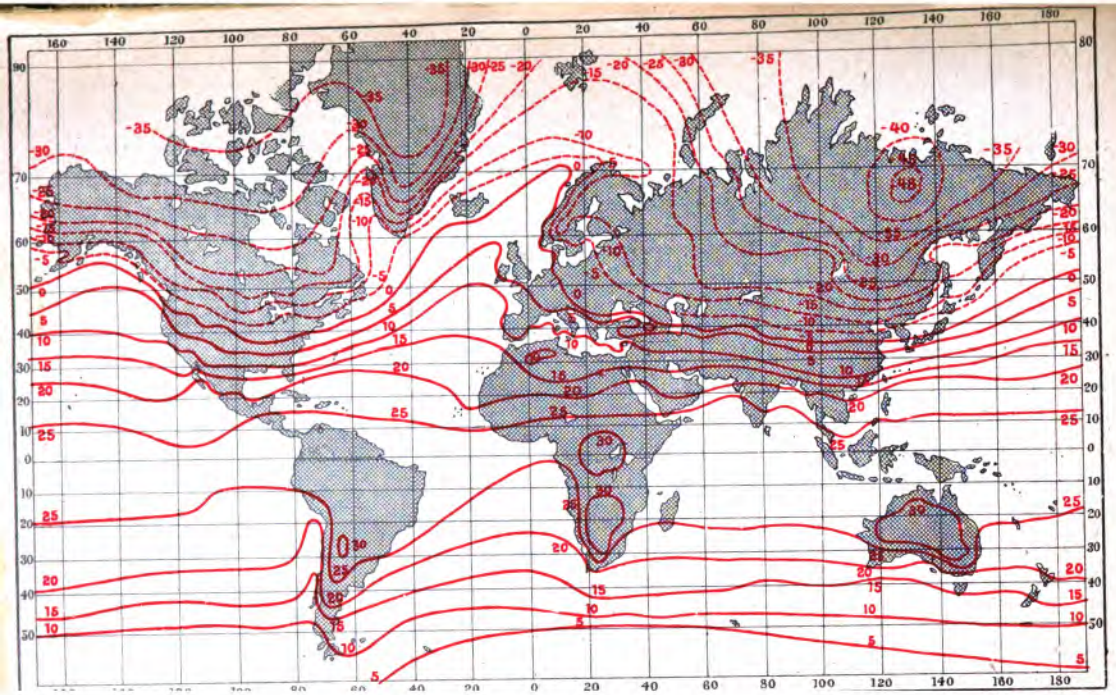
Eine längere Beobachtungsreihe, allerdings mit einem weniger genauen Apparate, liegt nur von Montpellier vor. Dort hat man täglich, wofern es die Witterung gestattete, die Intensität der Sonnenstrahlung gemessen.

Montpellier.

Monat	Tageslänge Stunden	Sonnenschein [1] Prozente	Intens. d. Str. Calorien	Wärme pro Tag Calorien	Durchlässigkeit [2] Prozente
Jan.	9·5	41	1·04	82	70
Febr.	10 5	47	1·06	127	64
März	12·0	48	1·09	184	57
April	13·2	46	1.16	229	57
Mai	14·7	53	1·15	296	51
Juni	15·4	56	1·09	311	48
Juli	15·0	62	1·10	325	47
Aug.	14 0	67	1·06	295	48
Sept.	12·6	54	1·05	225	56
Okt.	11·0	48	1·03	135	59
Nov.	9 8	38	1·04	90	67
Dez.	9·0	36	0·97	61	71

[1] Verhältnis der wirklichen Sonnenscheindauer zur möglichen: d. h. von je 100 Minuten, während welcher die Sonne thatsächlich am Himmel steht, scheint sie 41, 47 . . . Minuten.

[2] Wenn die Sonne thatsächlich im Zenith stünde.


160 140 120 100 80 60 40 20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 10 20 30 40 50
-35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 48

Wir haben aber schon gesehen, daß die Intensität der Strahlung wesentlich davon abhängt,[1] wie dick die Atmosphärenschichte ist, welche die Strahlen zu durchsetzen haben. Es ist deshalb selbstverständlich, daß bei niedrigerem Sonnenstand, wenn der Strahlenweg A'B (Fig. 4) größer ist als AB bei hohem Sonnenstande, die Intensität in B, dem Beobachtungsort an der Erdoberfläche EE', eine andere sein wird; will man daher vergleichbare Messungen erhalten, so sind dieselben alle auf dieselbe Sonnenhöhe zu beziehen.

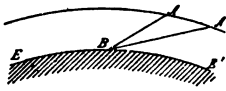


Fig. 4.

Die in der Tabelle (S. 32 Kol. 3) angegebenen Intensitäten der Sonnenstrahlung sind in Montpellier stets gegen Mittag beobachtet worden. Diese Zahlen geben an, wie viel Wärme einem Quadratcentimeter bei senkrechtem Einfallen der Strahlen in der Minute zugeführt wird. Diese Wärmemenge beträgt etwa 1 Calorie, d. h. sie ist so groß, daß sie 1 Gramm Wasser von 0° auf 1° C zu erwärmen vermag. Sie ist im Winter kleiner, im Sommer größer.

Da man nun aber die Tageslänge in Stunden kennt, da man auch weiß, wie lange im Durchschnitt die Sonne während des Tags wirklich scheint und nicht durch Wolken abgehalten wird,[2] so kann man leicht ermitteln, wie viel Wärme im Lauf eines Tages auf 1 cm^2 des Erdbodens fällt. Diese Daten enthält die vierte Kolumne; dabei fällt uns sofort der große Gegensatz zwischen Sommer und Winter auf. Während des ganzen Sommers werden einem Quadratcentimeter der Erdoberfläche in Montpellier fast 29 000, im Winter nur

[1] Bouguer hat für diese Abhängigkeit sogar ein Gesetz gefunden.

[2] Die Tabelle giebt an, wie viel Prozente von der ganzen Tageslänge, also der möglichen Sonnenscheindauer, die Sonne wirklich scheint.

wenig über 8000, im Frühjahr etwa 21000, im Herbst 14000 Calorien zugeführt; man kann somit die gesamte gegen 1 cm^2 gesandte Sonnenstrahlung auf rund 72000 Calorien schätzen, d. h. sie wäre im Stand eine Eisschichte von etwa 10 Meter Dicke zu schmelzen.

Wie die letztere Kolumne der Tabelle zeigt, ist auch die Durchlässigkeit der Atmosphäre, welche man durch Beobachtung der Strahlung bei niedrigem und hohem Sonnenstand leicht ermitteln kann, im Lauf des Jahres verschieden; im Sommer ist sie gering, im Winter größer, und im Mittel würden bei Zenithstellung der Sonne nur etwa 58% der Sonnenstrahlen an der Erdoberfläche anlangen.

Deutlich geht dieser Einfluß der Atmosphäre aus nachstehender Uebersicht hervor, welche Violle berechnet hat. Es gelangen nämlich, und zwar wieder, wenn die Sonne im Zenith stünde, von 100% an der Grenze auffallenden Strahlen bis

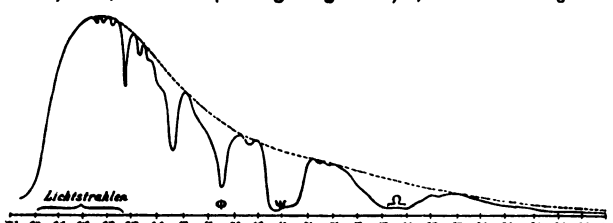
Montblanc (4810 m)	Grands Mulets (3050 m)	Bossongletscher (1220 m)	Grenoble (215 m)	Paris (60 m)
94%	89%	79%	71%	68%.

§ 10. Verteilung der Intensität auf die einzelnen Wellenlängen.

Weit schwieriger, als die Bestimmung der Totalintensität der Sonnenstrahlung, ist die Ermittlung ihrer Qualität. Zu diesem Behuf ist festzustellen, wie sich die Gesamtintensität auf die einzelnen Strahlenarten, welche uns die Sonne zusendet, verteilt. Durch langjährige Messungen mit einem äußerst feinen und empfindlichen Instrument, dem „Bolometer", ist es dem Amerikaner Langley gelungen, in diese Frage Klarheit zu bringen. Man kann nämlich die Sonnenstrahlung nicht bloß durch ein Prisma, sondern auch durch

ein auf einem Spiegel eingeritztes, äußerst feines Gitter in ein Spektrum ausziehen. Langley verwendete dazu ein Gitter, das 68100 Linien längs eines Centimeters enthielt. Das Bolometer besteht nun im wesentlichen aus einem sehr dünnen, geschwärzten Platindraht, der durch dieses Spektrum hindurchbewegt wird und dabei die Wellenlängen absorbiert, welche auf dem $^1/_5$ mm breiten, vom Draht ausgefüllten Raum sich befinden. Durch die größere oder geringere Erwärmung des Drahtes wird nun seine Leitungsfähigkeit verändert, und da den Draht der Strom eines konstanten galvanischen Elementes durchfließt, so wird man aus der Aenderung des Stromes auf die Energie der betreffenden Strahlenarten schließen können.

Schon bei seinen ersten Messungen konnte Langley nachweisen, daß sich in den Sonnenstrahlen Wellenlängen von etwa 0·30 bis 3 Mikron (1 Mikron = 1 Tausendel Millimeter) vorfinden. Später gelang es ihm, Wellen bis zu 18



Figur 5. Energieverteilung im Sonnenspektrum. —— Beobachtete Intensität ..... Ideale Verteilung.

Mikron nachzuweisen; wahrscheinlich enthält aber das Sonnenspektrum Wellenlängen bis zu 30 Mikron. Die leuchtenden Strahlen machen somit nur etwa $^1/_{60}$ der ganzen Ausdehnung des Spektrums aus; da aber nach Fig. 5, welche die Energieverteilung im Sonnenspektrum nach den Messungen Langleys darstellt, gerade die Intensität der leuchtenden Strahlen sehr

groß ist, so macht die Energie derselben etwa ein Drittel der Gesamtstrahlung aus.

Wie aber im leuchtenden Teile an manchen Stellen dunkle Linien (die bekannten Fraunhofer'schen Linien) auftreten, so zeigt uns die Figur auch im dunklen Teile an manchen Stellen Unterbrechungen, d. h. Wellenlängen, die, wenigstens an der Erdoberfläche, im Sonnenspektrum fehlen. Sollten dieselben etwa von der Erdatmosphäre absorbiert worden sein? Langley hat die auffallendsten dieser „kalten Bänder" mit den griechischen Buchstaben Φ, Ψ, Ω bezeichnet, ja später noch ein Band X bei 2·64, ein Band Y bei 4·25, und endlich ein breites Band zwischen 5 und 11 Mikron nachgewiesen.

Auch die Entscheidung der Frage, ob diese Energieverteilung an der Grenze der Atmosphäre dieselbe sei, hat Langley durch Bolometermessungen auf dem Mt. Whitney angebahnt. Er ist dabei zu dem überraschenden Ergebnisse gelangt, daß die verschiedenen Wellenlängen in ganz verschiedenem Maße von der Atmosphäre durchgelassen werden: im allgemeinen die längeren Wellenlängen viel leichter, die kürzeren weniger leicht. So würden, wenn die Sonne im Zenith stünde, z. B. von der Wellenlänge 0·375 Mikron 39·2%, von 0·500 Mikron 54·4%, von 0·800 Mikron 76·3% und endlich von 1 Mikron sogar 79·9% von der Atmosphäre durchgelassen. Neben dieser, alle Wellenlängen umfassenden regelmäßigen Abschwächung finden wir an manchen Stellen (das sind eben die kalten Bänder) eine unregelmäßige Abschwächung, ja volle Auslöschung gewisser Wellenlängen. Von dieser hochbedeutsamen Erscheinung werden wir später noch zu sprechen haben.

Was ist aber die Folge der regelmäßig mit der Verkürzung der Wellenlängen zunehmenden Schwächung der Strahlen? Offenbar, die, daß, je länger der Weg ist, den

die Strahlen in der Atmosphäre zurücklegen, um so mehr die kürzeren Wellenlängen geschwächt werden, also das Intensitätsmaximum, wie es Fig. 6 zeigt, immer weiter gegen das rote Ende gerückt wird. Bei einer Sonnenhöhe von etwa 23 Grad (Kurve III) liegt das Maximum bei 0·66 Mikron im Rot, bei einer Sonnenhöhe von etwa 54° (Kurve II) bei 0·59 Mikron im Gelb, und an der Grenze der Atmosphäre (Kurve I) würde dasselbe bei 0·52 Mikron im Grün liegen. Langley meint, an der Grenze der Atmosphäre würde die Sonne uns blau erscheinen, weil eben die blauen und grünen Strahlen dort unverhältnismäßig stärker vertreten sind, als an der Erdoberfläche.

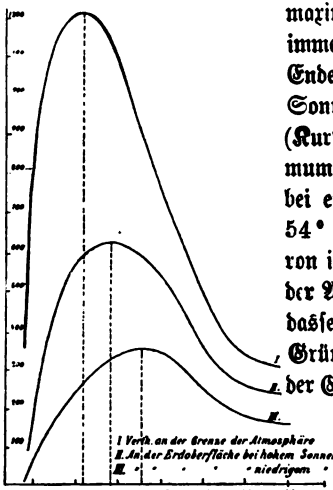


Fig. 6.
Energieverteilung bei verschiedenem Sonnenstand.

§ 11. Die Solarkonstante.

Durch Langleys schöne Arbeiten sind jene Fragen, die das Problem der Sonnenstrahlung enthielt, teilweise bereits beantwortet. Wir kennen die Gesamtenergie der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche wie ihre Verteilung auf die einzelnen Strahlenarten; da wir aber gesehen haben, wie jede einzelne Wellenlänge beim Durchgang durch die Atmosphäre geschwächt wird, so haben wir auch auf die Energieverteilung an der Grenze der Atmosphäre schließen können. Damit ist

aber, und zwar durch Summation der Energien der einzelnen Strahlenarten, die Gesamtstrahlung, welche an der Grenze der Atmosphäre bei senkrechtem Auffallen der Strahlen auf ein Quadratcentimeter in der Minute entfällt, also die „Solarkonstante", gegeben. Nach Langley beträgt dieselbe 3 Calorien.

Diese Größe wird je nach der Entfernung der Erde von der Sonne größer oder kleiner sein; unsere Messungen sind aber noch nicht genau genug, um so geringe Unterschiede feststellen zu können. Ebensowenig ist es bisher gelungen, einen Unterschied in der Strahlung je nach dem Stande der Sonnenflecken nachzuweisen. Hingegen bereitet es nun keine Schwierigkeiten mehr, anzugeben, wie viel Energie ein Quadratcentimeter der Sonnenoberfläche pro Minute aussendet. Man kann dieselbe auf etwa 150 000 Calorien schätzen, d. h. sie ist so groß, wie die Strahlung eines glühenden Kohlenkörpers von etwa 6000 ° C. Da das Emissionsvermögen der Sonne kaum viel geringer sein dürfte, als dasjenige des Rußes oder der Kohle so wird man etwa 6000 ° C als Temperatur der Sonnenoberfläche annehmen dürfen.

§ 12. Der Energieverlust in der Atmosphäre.

Wir stehen nun vor der Frage, was denn aus der Energie der Strahlen wird, welche bei deren Durchgang durch die Atmosphäre scheinbar verloren geht. Die nächstliegende Annahme wäre wohl die, daß dieselben von der Luft absorbiert und zur Erwärmung der letzteren verwendet werden. Wenn wir aber an die Erscheinung denken, daß ein in ein dunkles Zimmer fallender Lichtstrahl uns an den Staubteilchen der Luft dadurch sichtbar wird, daß an jedem einzelnen dieser Teilchen das Licht nach allen Seiten hin „diffus" reflektiert

wird, ſo muß man auch die Möglichkeit zugeben, daß die Schwächung der Strahlen in der „diffuſen Reflexion“ an den Luft- oder den Staubteilchen der Atmoſphäre ihren Grund haben könnte.

In der That haben Theorie und Verſuch gelehrt, daß die eine Art, die regelmäßig mit abnehmender Wellenlänge wachſende Schwächung, allein auf Rechnung der diffuſen Reflexion der Strahlen zu ſetzen iſt, und daß hierin die Urſache liegt, warum, wenn die Sonne über dem Horizont ſteht, auch der Himmel uns hell erſcheint und uns einen beträchtlichen Anteil an Licht und Wärme zuſendet. Noch heute aber iſt es eine offene Frage, ob die Luft ſelbſt oder die Staubpartikelchen es ſind, welche die zurückbehaltene Strahlung nach allen Seiten zerſtreuen.

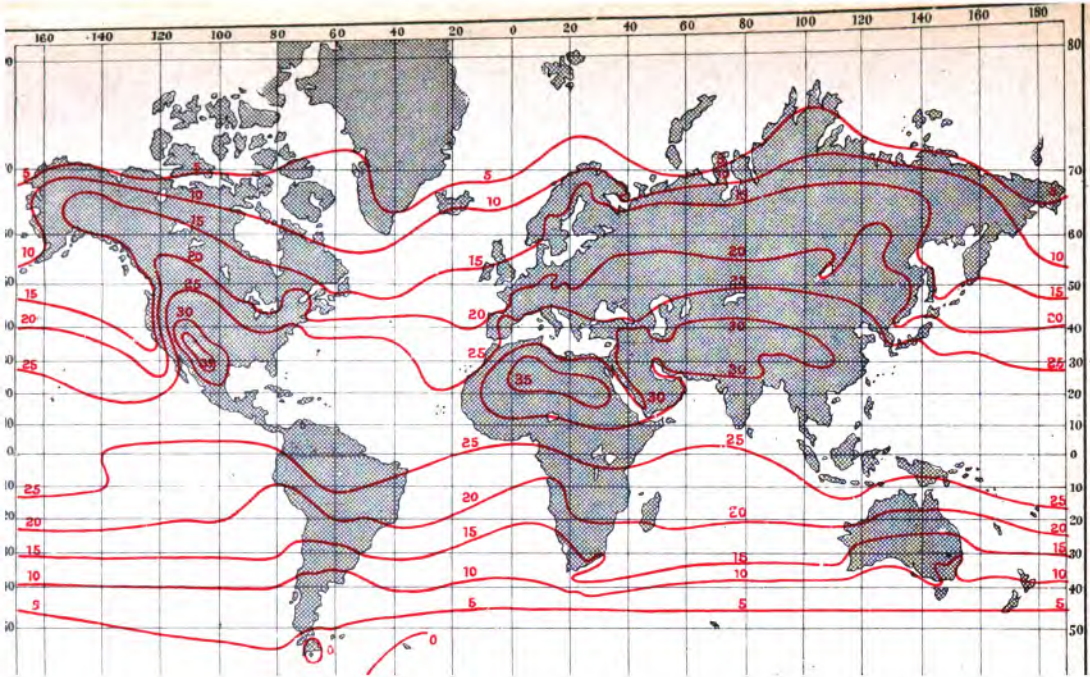
Wie aber ſteht es mit der ganz unregelmäßig gerade an beſtimmten Stellen des Spektrums auftretenden Auslöſchung der Strahlen, die wir als die „kalten Bänder“ Langleys kennen gelernt haben? Sollte dieſer Erſcheinung nicht eine andere Urſache, etwa wirkliche Abſorption, zu Grunde liegen? Die Unterſuchungen Paſchens haben auch dieſe Frage bejaht; ja es gelang im Waſſerdampf und in der Kohlenſäure direkt die Beſtandteile der Atmoſphäre feſtzuſtellen, welche dieſe Strahlenarten auffangen und ſo zur Entſtehung der einzelnen Bänder Veranlaſſung geben. Es zeigt nämlich der Waſſerdampf bei jenen Strahlenarten Abſorptionsmaxima, wo Langley die Bänder Ψ, Ω, X und das Band zwiſchen 5 und 11 Mikron nachwies. Das Band X kommt übrigens zum Teil auch auf Rechnung der Kohlenſäure, welche gleichfalls hier und bei Band Y ein Abſorptionsmaximum aufweiſt. Damit iſt die hohe Wichtigkeit dieſer beiden Gaſe für die Atmoſphäre klargelegt, und wir verſtehen jetzt auch, warum im Winter

bei trockener Luft die Durchlässigkeit der Atmosphäre eine viel größere ist, als im Sommer.

§ 13. Strahlung des Himmels und der Atmosphäre.

Außer der eben besprochenen diffusen Strahlung des Himmels, die ja im Grunde nur eine nach allen Seiten zerstreute Sonnenstrahlung ist, hat man früher auch an eine wirkliche Strahlung des Himmels gedacht, da man vielfach dem Weltraum eine bestimmte Temperatur, gewöhnlich etwa — 150 ° C, zuschrieb. Heute wissen wir, daß wir dem Weltraum, wenn wir überhaupt von einer „Temperatur" desselben sprechen wollen, nur die des absoluten Nullpunktes zuschreiben können; als diese pflegen wir — 273 ° C anzunehmen. Es kann also nicht von einer Strahlung des Weltraumes, sondern nur von einer Ausstrahlung der Erde in den Weltraum die Rede sein. Die Sterne kommen als Wärmespender für die Erde nicht in Betracht; nur an der beleuchteten Mondoberfläche hat man das Vorhandensein einer allerdings minimalen und praktisch nicht in Betracht kommenden Strahlung nachzuweisen vermocht.

Wenn trotzdem auch in den Nachtstunden, in denen bloß die Ausstrahlung in den kalten Weltraum erfolgt, die Temperatur an der Erdoberfläche nur sehr langsam sinkt, so hat dies seinen Grund darin, daß die Atmosphäre selbst eine bedeutende Strahlung gegen jeden Punkt der Erdoberfläche aussendet. Maurer hat direkte Messungen dieser Strahlung der Atmosphäre vorgenommen und gefunden, daß dieselbe 0·37 Calorien pro Minute und Quadratcentimeter betrage. Eine Untersuchung der in dieser Strahlung vorkommenden Wellenlängen wurde bisher noch nicht ausgeführt. Doch ist wohl nicht daran zu zweifeln, daß diese Strahlung von dem Wasserdampf und der Kohlensäure in der Atmosphäre herrührt,


160 140 120 100 80 60 40 20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
80 70 60 50 40 30 20 10 0 10 20 30 40 50
5 10 15 20 25 30 35
0

und daß darin gerade jene Strahlenarten vorkommen, die uns in der Sonnenstrahlung (in den kalten Bändern) fehlen. Es ist ja ein physikalisches Gesetz, daß ein Körper, wenn er selbst strahlt, gerade jene Wellenlängen aussendet, die er sonst absorbiert.

Die Temperatur.

§ 14. Die Temperatur und ihre Messung.

Unter allen Veränderungen in der Atmosphäre machen sich die der Temperatur, d. h. des Zustandes, der sich für uns in der Empfindung von Wärme und Kälte äußert, am allermeisten fühlbar. Wir bedienen uns zu ihrer Messung des Thermometers (Figur 7), dessen Wesen auf der Eigenschaft der Flüssigkeiten und anderer Körper beruht, sich bei steigender Temperatur auszudehnen und umgekehrt sich zusammenzuziehen, wenn die Temperatur fällt.

Fig. 7. Thermometer.

Es ist an sich gleichgiltig, welche Flüssigkeit dabei als thermometrische Substanz zur Verwendung kommt; doch besitzt Quecksilber wegen seiner regelmäßigen Ausdehnung und als guter Wärmeleiter mannigfache Vorzüge. Da es aber bei — 38·5° C fest wird, so wendet man zur Messung tieferer Temperaturen vielfach das Alkoholthermometer an, das freilich die große Schattenseite hat, daß der Alkohol bei hoher Temperatur verdunstet und sich bei folgender Abkühlung an dem oberen Ende des Thermometerrohres wieder kondensiert.

Zur Bestimmung eines Ausgangspunktes und zur Wahl einer Einheit hat man sich für zwei Fixpunkte entschieden: die

Temperatur des schmelzenden Eises und die des siedenden Wassers. Man hat sich geeinigt, bei den zu wissenschaftlichen Zwecken verwendeten Thermometern diesen Abstand, den „Fundamentalabstand", in 100 Teile zu teilen. Da nun zuerst Celsius diese Einteilung gewählt hat, so nennt man einen solchen Teil einen „Grad Celsius", wobei der Eispunkt als Ausgang der Zählung gilt. Da aber vielfach auch tiefere Temperaturgrade zu bestimmen sind, so sah man sich gezwungen, die Teilung unterhalb des Nullpunkts fortzusetzen. Zum Unterschied von den emporsteigenden Graden bezeichnet man diese Temperaturgrade durch den Strich —, das sogenannte Minuszeichen, z. B. — 10° C., d. h. 10 Grad Kälte nach Celsius.

Neben dem genannten Thermometer sind noch andere in Gebrauch: das Réaumursche, bei welchem der Fundamentalabstand in 80 Teile geteilt ist; ferner besonders in England, das Fahrenheitsche Thermometer, bei welchem dieser Abstand in 180 Teile geteilt ist, aber der Eispunkt nicht mit 0, sondern mit 32° Fahrenheit bezeichnet ist. Der Nullpunkt liegt also hier viel tiefer.

Nach dieser Auseinandersetzung ist es nicht schwer, diese drei Thermometersysteme aufeinander zu reduzieren; denn es sind:

$$x^\circ \text{ Celsius} = \frac{4}{5} x^\circ \text{ Réaumur} = \left(32 + \frac{9}{5} x\right)^\circ \text{ Fahrenheit}$$

$$x^\circ \text{ Réaumur} = \frac{5}{4} x^\circ \text{ Celsius} = \left(32 + \frac{9}{4} x\right)^\circ \text{ Fahrenheit}$$

$$x^\circ \text{ Fahrenheit} = \frac{5}{9} (x - 32)^\circ \text{ Celsius} = \frac{4}{9} (x - 32)^\circ \text{ R.}$$

Von wesentlicher Bedeutung für die Konstruktion von Thermometern ist die Glasforte, weil manche Glasarten die Eigenschaft haben, nachdem sie geblasen wurden, sich im Lauf der Zeit zusammenzuziehen, so daß bei den daraus ge-

fertigten Thermometern, deren Nullpunkt ursprünglich richtig bestimmt war, durch die Contraction der Glaskugel dieser allmählich hinaufgerückt wird. So kann es kommen, daß nach Jahren ein solches Thermometer einen vollen Grad oder mehr zu hoch zeigt. Das „Jenaer" Glas, an einem blauvioletten Streifen auf der Rückseite der Glasröhren kenntlich, hat diese unangenehme Eigenschaft nicht und wird deshalb jetzt bei genauen Thermometern allgemein angewendet.

Um auch zu Zeiten, wo man nicht gerade ablesen kann, Temperaturangaben zu erhalten, hat man „Maximum- und Minimum-Thermometer" und „selbstregistrierende" Thermometer (Thermographen) konstruiert. Die Einrichtung der ersteren ist verschieden, doch kommt meist ein Indexstift zur Verwendung, der durch die thermometrische Substanz bis zu einer höchsten bezw. tiefsten Stelle getrieben wird, dort aber liegen bleibt und nach der Ablesung durch einen Magnet wieder eingestellt werden muß.

Bei den Thermographen[1] dient als thermometrische Substanz Alkohol, der in einem flachen, halbmondförmig gebogenen Metallgefäß G (Fig. 8) eingeschlossen ist und durch seine Ausdehnung die Krümmung dieses Gefäßes verändert. Ein Hebelwerk überträgt diese Aenderung auf einen Schreibhebel H, der mit der Temperatur steigt und fällt, und dessen Stand auf einem durch ein Uhrwerk vorüberbewegten Papierstreifen P continuierlich eingezeichnet wird.

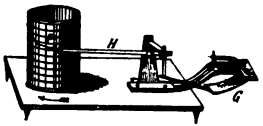


Fig. 8. Thermograph.

[1] Diese, sowie die meisten selbstregistrierenden Apparate, werden in vorzüglicher Qualität von der Firma Frères Richard in Paris hergestellt, sie sind übrigens in allen übrigen Geschäften mit meteorologischen Instrumenten zu haben.

§ 15. Aufstellung der Thermometer; Aßmanns Aspirationspsychrometer.

Wo sollen wir nun die Temperatur der Luft messen? Wie die Erfahrung lehrt, finden wir fast identische Werte, ob wir die Temperatur der Luft in 2, 3, 5, ja selbst 10 m Höhe über dem Erdboden messen. Nur dann finden wir wesentlich abweichende Werte, wenn wir uns dem Erdboden bedeutend nähern. Aus diesem Grunde hat man eine Thermometerhöhe von mindestens 2 m über dem Boden als Regel aufgestellt.

Da aber auch das Glas einen großen Teil der Sonnenstrahlen zu absorbieren vermag, so ist das Instrument so aufzustellen, daß jeder Sonneneinfluß abgehalten ist. Sonst wirkt jedes Thermometer als Actinometer, d. h. es erwärmt sich unter dem Einfluß der absorbierten Strahlen bis zu jener Temperatur, bei welcher der Wärmeverlust an die kältere Umgebung der Wärmezufuhr durch die Sonnenstrahlung das Gleichgewicht hält. Ein solches Thermometer zeigt also notwendigerweise immer zu hoch. Nicht minder schädlich ist die Benetzung der Thermometer durch den Regen, da ja sofort nach dem Regen die Feuchtigkeit an der Thermometerkugel verdunsten, dazu aber Wärme verbrauchen, also die Temperatur des Quecksilbers unbedingt unter die Lufttemperatur herabdrücken würde.

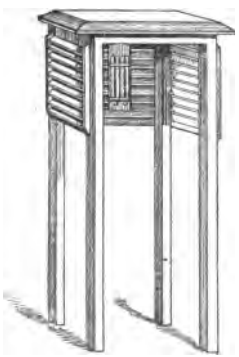


Fig. 9. Thermometerhütte.

Man hat deshalb zum Schutz gegen Sonne und Regen möglichst luftige Jalousiehütten (Fig. 9) zur Aufstellung der Thermometer verwendet, die sich freilich unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen auch erwärmen. Oder man verwendet Blechgehäuse (Fig. 10) im Nordschatten des Hauses, etwa $^1/_2$ m von der Wand entfernt; aber, wenn auch diese Aufstellung im ganzen recht gut ist, so werden doch auch diese Beschirmungen im Hochsommer oft von der Sonne erwärmt und die Thermometer dadurch beeinflußt.

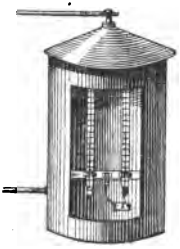


Fig. 10. Thermometer-Beschirmung.

Das Problem der Thermometeraufstellung besteht also offenbar darin, eine Beschirmung zu konstruieren, die selbst schon die Lufttemperatur hat und deshalb das Thermometer nicht mehr beeinflussen kann. Dieses Problem ist nun im Aßmannschen Aspirationspsychrometer[1] auf das beste gelöst worden. Aßmann schließt jedes Thermometer[2] in eine cylindrische, glänzend polierte, doppelwandige Hülle Hh hH (Fig. 11) ein, durch welche in der Richtung der Pfeile mittelst eines durch ein Uhrwerk getriebenen Aspirators A die Luft, deren Temperatur gemessen werden soll, hindurchgesaugt wird. Mag nun auch dieses Instrument im vollen Sonnenschein verwendet werden und die äußere Hülle H H sich um mehrere Grade über die Lufttemperatur erwärmen, so weicht, da einerseits die Strahlung der äußeren blanken Hülle

Fig. 11. Aßmanns Aspirationspsychrometer.

[1] Dieses Instrument wird von Fueß in Berlin konstruiert.

[2] Er verwendet zwei, deren eines zur Feuchtigkeitsbestimmung (vergl. § 35) benützt wird.

doch nicht so beträchtlich ist, andererseits aber fortwährend neue Luft an der inneren Hülle hh vorüber geführt wird, die Temperatur dieser letzteren nicht einmal um $^1/_{10}$° C von der Lufttemperatur ab. Das eingeschlossene Thermometer wird somit nicht mehr merklich beeinflußt. Wofern nur die Geschwindigkeit des durchgesaugten Luftstromes nicht weniger als 2·3 m pro Sekunde beträgt, vermag man mit Hilfe eines solchen Apparates in der That die wahre Lufttemperatur zu ermitteln. Die angestellten Versuche haben gelehrt, daß wir mit demselben im Schatten, wie in der Sonne dieselbe Temperatur beobachten. Es ist somit ganz unrichtig von einer Temperatur „in der Sonne" zu sprechen; denn die Luft hat hier die gleiche Temperatur wie im Schatten; vielmehr zeigt das Thermometer, das von der Sonne bestrahlt wird, unrichtig, nämlich zu hoch, aber je nach der Glassorte in verschiedenem Maße. Es verhält sich ein solches Thermometer ähnlich wie unser Körper: unsere Empfindung von Wärme und Kälte hängt nicht allein von der Lufttemperatur ab, sondern wird wesentlich bedingt von der Wärmezu- oder abfuhr. So können wir es besonders in dunkler Kleidung bei intensiver Sonnenstrahlung ganz angenehm warm finden, wenn auch die Lufttemperatur vielleicht mehrere Grade unter Null beträgt.

§ 16. Der tägliche Temperaturgang.

Schon ein flüchtiger Blick auf ein beliebiges Thermogramm (Fig. 12 siehe Tafeln) läßt uns einen gewissen Gang der Temperatur während des Tages erkennen. Um jedoch die mannigfachen Unregelmäßigkeiten, wie sie einzelne Tage aufweisen, zu entfernen, pflegt man aus einer größeren Zahl von Tagen für jede Stunde ein Mittel zu ziehen: erst dieser „mittlere" tägliche Gang ist es, den man zur Grundlage weiterer Betrachtungen macht.

Fast überall sehen wir (vgl. Fig. 13 für Paris), daß das Minimum der Temperatur, je nach der Jahreszeit und Witterung verschieden, zwischen 4 und 8 Uhr früh eintritt, daß hierauf ein rascher Anstieg bis zu einem Maximum zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags erfolgt, worauf die Temperatur allmählich und immer langsamer bis zum Minimum wieder abfällt.

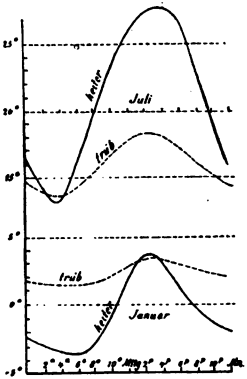


Fig. 13. Täglicher Temperaturgang zu Paris.

Die Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Werte der Temperatur eines Tages, die „Amplitude", zeigt sich jedoch nicht bloß nach der Jahreszeit und dem Wetter, sondern auch nach der Oertlichkeit sehr verschieden: wir sehen sie (Fig. 14) groß auf dem **Kontinent** (besonders in engen Thälern), klein auf dem Ozean und auf hohen Bergen.

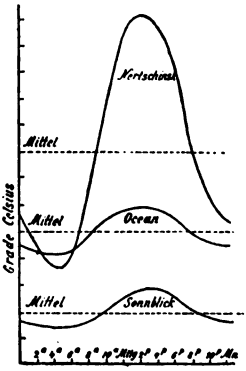


Fig. 14. Täglicher Temperaturgang von Nertschinsk, Ozean, Sonnblick.

Die Ursache dieses Ganges kann nur auf dem Wechsel von Tag und Nacht beruhen; und doch, wenn wir an den geringen Betrag der direkten Absorption der Sonnenstrahlen durch die Luft denken, werden wir diese Ursache nur zur Erklärung der kleinen Amplituden auf dem Meere und in höheren Luftschichten herbeiziehen können, während wir die Ursache der großen Amplituden auf dem Kontinente in

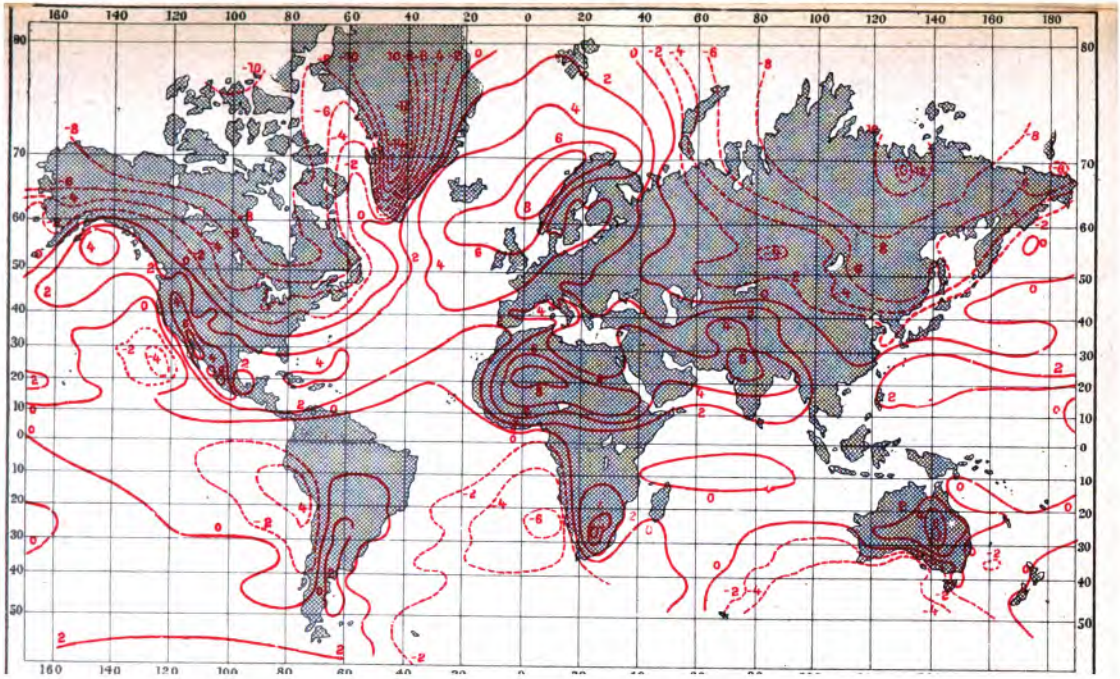
dem durch die Sonnenstrahlung erhitzten Erdboden zu suchen haben. Von diesem steigt die erwärmte Luft in Form feinster Strömchen empor, während dafür ein entsprechendes Quantum kalter Luft aus der Höhe herabsinkt. Dieser nicht mit der Wärmeleitung zu verwechselnde Vorgang, die „Konvektion", dieses Wechselspiel auf- und absteigender Luftströmchen, das man über erhitzten Flächen als ein eigentümliches Flimmern direkt beobachten kann, vermag sich nur auf dem Lande zu bilden, wo sich der Erdboden oft bedeutend über die Lufttemperatur erwärmt. Ueber dem Lande ist die Konvektion zweifellos die Haupt-Ursache der Lufterwärmung während des Tages. Auf dem Meere, das nur ein wenig wärmer ist als die über ihm lagernde Luftschichte, fällt diese Ursache weg (vgl. S. 57).

Die Höhe, bis zu welcher sich diese Wärmezufuhr durch Konvektion erstreckt, wird man in der freien Atmosphäre im Sommer auf etwa 1000 m veranschlagen dürfen. Oberhalb derselben, wo sich nur noch der Einfluß der Absorption geltend macht, werden wir daher auch über dem Lande in der freien Atmosphäre[1] nur eine Temperaturschwankung von etwa 1° C zu erwarten haben. In der That ist es Hann gelungen, aus dem wechselnden Gewicht der zwischen je zwei Berggipfeln gelegenen Luftschichte auf den Temperaturgang derselben zu schließen: er hat hier eine Schwankung von etwa 1° C, aber überraschenderweise eine Verspätung des Maximums bis auf 6 Uhr abends gefunden.

§ 17. Mitteltemperaturen.

Bei der großen Verschiedenheit der Temperatur während der einzelnen Tagesstunden ist eine Vergleichung der Tem-

[1] Auf Bergen werden die Temperaturbeobachtungen durch die Bodenerhebung vielfach gestört sein.


160 140 120 100 80 60 40 20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 10 20 30 40 50

peratur einzelner Tage oder auch ganzer Monate nur möglich, wenn man die Temperaturen der Einzelstunden zu einem Mittel, dem „Tagesmittel", vereinigt. Da jedoch nicht überall ein Thermograph zur Hand ist, so handelt es sich darum, wie man durch passende Wahl der Beobachtungsstunden doch Werte zu erhalten vermag, welche dem wahren Tagesmittel möglichst nahe kommen. Es hat sich herausgestellt, daß man schon mit täglich dreimaliger Beobachtung recht verläßliche Werte erhalten kann, und daß die Kombinationen $7^h a$, $2^h p$ und $9^h p$, aber auch $7^h a$, $1^h p$ und $9^h p$, sowie $6^h a$, $1^h p$, $10^h p$ zu den besten gehören. Bequemer ist die Kombination $8^h a$, $2^h p$ und $8^h p$, die jedoch im allgemeinen ziemlich stark vom wahren Mittel abweichende Temperaturen liefert.

Wie die Beobachtungen lehren, zeigen aber auch die wahren Mitteltemperaturen der einzelnen Monate, ja selbst das Jahresmittel in den verschiedenen Jahren beträchtlich von einander abweichende Werte. Wie viel Beobachtungsjahre sind also wohl notwendig, um wirkliche Mittelwerte zu erlangen?

Hann hat nachgewiesen, daß, um die Mitteltemperatur eines Monats bis auf 0·1° C genau zu erhalten, eine Beobachtungsreihe von mehreren hundert Jahren (z. B. 480 Jahre für ein Dezember-Mittel am Nordfuße der Alpen) erforderlich wäre. Es stünde fürwahr um manche Probleme der Meteorologie recht schlimm, wenn man nicht ein Mittel gefunden hätte, auch aus kürzeren Reihen verläßliche Daten zu gewinnen. Besonders Lamont, Dove und Hann lieferten den Nachweis, daß die Temperatur benachbarter Orte in verschiedenen Jahren immer im gleichen Sinne abweiche, so daß die Differenzen zwischen den einzelnen Orten so ziemlich dieselben bleiben. Wenn dem so ist, so ist es nicht schwer, wenn wir nur von

einem Orte A eine recht lange Beobachtungsreihe besitzen und das Normalmittel T kennen, von jedem beliebigem Orte B eine kürzere Reihe auf die lange von A zu reduzieren. Sei t′ das Mittel dieser kürzeren, vielleicht nur 10-jährigen Reihe von B, dann brauchen wir nur aus ebendenselben Jahren das Mittel t auf unserer Normalstation A zu ermitteln. Ist dann die Differenz $t' - t = d$ auch für eine längere Reihe dieselbe, so würde auch das langjährige Normalmittel T′ der Station B von T um d° C verschieden sein: wir brauchen deshalb nur diese Differenz an das langjährige Mittel der Normalstation A anzubringen, um jenes zu finden, das man in B bei einer gleichen Zahl von Jahren würde erhalten haben.[1] Bei 100 km Entfernung zweier Stationen von einander genügen bei dieser Methode schon 12 Jahre, um bis auf 0.1° C genaue Mittel zu bekommen.

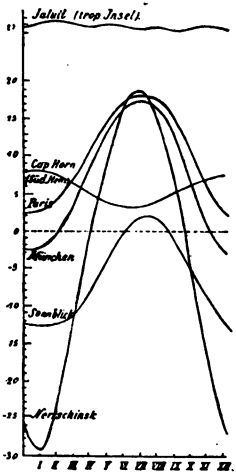


Fig. 15. Jährlicher Gang der Temperatur.

§ 18. Jährlicher Gang der Temperatur.

Auch der jährliche Gang, den die so erhaltenen Monatsmittel der Temperatur zeigen, weist (vergl. Fig. 15) bedeutende Verschiedenheiten auf. Kann man sich einen größeren Gegensatz denken, als den zwischen der jahraus jahrein fast unveränderlichen Temperatur der tropischen Insel Jaluit und jenem

[1] $T' = T + d$.

Temperaturgegensatz von beinahe 50° C. zwischen Sommer und Winter, wie ihn das kontinentale Nertschinsk zeigt?

Die Ursachen der jährlichen Temperaturschwankung sind die Schiefe der Erdachse und die dadurch bedingte Sonnenhöhe und Tageslänge: diese schwankt (vergl. S. 32) in unseren Breiten zwischen 9·0 und 15·4 Stunden, bleibt aber in den Tropen das ganze Jahr hindurch dieselbe, wogegen am Pol ein halbjähriger Tag mit einer halbjährigen Nacht wechselt.

Mit der längeren Tagesdauer ist aber gleichzeitig auch eine größere Erhebung der Sonne über den Horizont verbunden. Im Sommer scheint die Sonne nicht bloß viel länger, sie steht auch viel höher am Himmel, sodaß ihre Strahlen weit weniger schief den Boden treffen, als im Winter.

Je schiefer die Sonnenstrahlen auffallen, um so größer wird die Fläche AB (Fig. 16), auf welche sich ein Strahlenbündel von bestimmtem Querschnitte AA', etwa 1 cm², verteilt, und um so weniger entfällt davon auf die Flächeneinheit des Bodens. Je höher die Sonne steht und je länger sie scheint,

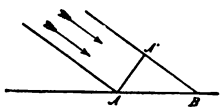


Fig. 16.

um so mehr Wärme wird daher der Boden erhalten (vergl. die vorletzte Kolumne auf S. 32). Im Sommer wird darum eine intensivere Erwärmung des Erdbodens eintreten, während bei niedrigem Stand im Winter die Ausstrahlung des Bodens überwiegt.

Je ärmer die Atmosphäre an Wasserdampf, je geringer also die Absorption der Strahlung wird, um so stärker macht sich dieser Gegensatz fühlbar, um so intensiver ist die Einstrahlung im Sommer und ebenso intensiver wird auch die Ausstrahlung im Winter. Auch im jährlichen Gange wird sich somit der Gegensatz zwischen Meer und Kontinent wie beim

täglichen Gange selbst in derselben geographischen Breite geltend machen. Dieser Gegensatz wird aber noch verschärft durch die Eigenschaft des Wassers, sich vermöge seiner hohen spezifischen Wärme nur langsam zu erwärmen, die aufgenommene Wärme aber sehr lange zu erhalten. Dazu kommt noch weiter der Umstand, daß die Sonnenstrahlen verhältnismäßig tief eindringen, also die von ihnen gelieferte Wärme sich auf eine große Wassermenge verteilt, und daß im Winter bei der Abkühlung das kalte schwerere Wasser zu Boden sinkt und dafür wieder wärmeres aus der Tiefe emporsteigt. Aus diesen Eigenschaften wie aus seinem geringen Absorptions- und Ausstrahlungsvermögen erklärt sich die Thatsache, daß sich das Meer nur schwer erwärmt, aber die einmal aufgenommene Wärme sehr lange behält, also im Sommer verhältnismäßig kalt, im Winter verhältnismäßig warm bleibt.

Wärmeverteilung über der Erdoberfläche.

§ 19. Die Isothermen.

Im Lauf der Zeit hat sich ein riesiges Material von Temperaturbeobachtungen aus allen Gebieten der Erde aufgehäuft. Wir vermögen auch die einzelnen Werte durch Reduktion auf eine bestimmte 30- oder 50jährige Epoche untereinander zu vergleichen. Niemand würde jedoch imstande sein, dieses an sich tote Zahlenmaterial zu überblicken, wenn nicht Alex. v. Humboldt durch Einführung

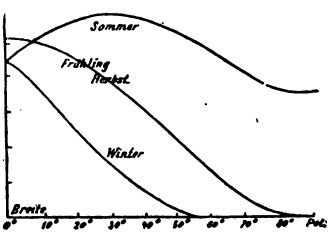


Fig. 19. Jährliche Strahlenmenge in den verschiedenen Breiten.

der „Isothermen", d. h. jener Linien, welche alle Punkte von gleicher Temperatur auf der Erdoberfläche miteinander verbinden, ein Mittel geschaffen hätte, mit einem Blick die Gesetzmäßigkeit in der scheinbaren Regellosigkeit zu erkennen.

Dove, Hann, Buchan u. a. haben derartige Isothermenkarten sowohl für das Jahr, als für die einzelnen Monate entworfen.

Ein Blick auf dieselben (Fig. 17 und 18, siehe Tafeln) lehrt uns die Temperaturabnahme vom Aequator zum Pol, die hohen Temperaturen des Landes im Sommer, die niedrigen im Winter, die großen Temperaturgegensätze auf der nördlichen Hemisphäre in der kalten Jahreszeit und die weit gleichmäßigere Temperaturverteilung in allen Jahreszeiten auf der südlichen Wasserhemisphäre.

Nicht bloß die geographische Breite und die durch sie bedingte Menge der Sonnenstrahlung[1], welche auf einen Parallelkreis entfällt, sondern auch die Land- und Meeresverteilung zeigt sich somit als ein wesentlicher Grund für die Verteilung der Wärme auf der Erde.

§ 20. Mitteltemperaturen der Parallelkreise.

Wo immer verschiedene Ursachen sich als wirksam erweisen, dort ist es ein Gebot der Wissenschaft, dieselben zu trennen, um so die Wirkung jeder einzelnen übersehen zu können.

So hat man denn auch bei dem Problem der Wärmeverteilung zunächst den Einfluß der geographischen Breite für sich darzustellen versucht. Schon Dove hat für die einzelnen Parallelkreise Mitteltemperaturen gebildet; zum gleichen Zweck ist das neuere Beobachtungsmaterial von Spitaler verwendet

[1] Deren Betrag für die einzelnen Breiten ist in Fig. 19 nach Angot graphisch dargestellt.

worden. Die von ihm ermittelten Temperaturen sollen von 15 zu 15° hier Platz finden.

Breite:	0°	15°	30°	45°	60°	75°
	Mitteltemperaturen in °C.					
Nordhem.	25·9	26·3	20·3	9·6	—0·8	—13·3
Südhem.	25·9	24·2	18·5	8·9	0·2	(—6·8)

Spitaler und Zenker haben auch den Versuch gemacht, aus diesen Werten die Temperaturverteilung auf einer reinen Land- und einer reinen Wasserhemisphäre zu berechnen. Spitaler hat dies gethan, indem er mit Hilfe einer aus den Mitteltemperaturen gewonnenen empirischen Formel die Beziehung zwischen der Temperatur T, der Breite φ und dem Verhältnis n von Land und Meer auf dem betreffenden Parallelkreis darstellte.[1]

Fig. 20 giebt eine übersichtliche Darstellung der Temperaturverteilung auf einer Land- und einer Wasserhemisphäre: sie zeigt zugleich den Grund für die Verschiedenheiten zwischen der Nord- und der Südhemisphäre und die Ursache der Verschiebung des Wärmeäquators auf die nördliche Hemisphäre.

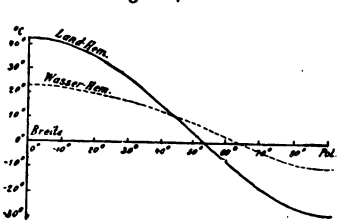


Fig. 20. Temperaturverteilung auf einer Land- und Wasser-Halbkugel.

In den niederen Breiten, wo die Einstrahlung der Sonne die Ausstrahlung überwiegt, wirkt eben das Land temperaturerhöhend, in den höheren Breiten, wo es sich umgekehrt verhält, erniedrigend. Das Land verschärft mit einem Wort die Extreme, aber ohne das Gesamtmittel zu verändern; und so zeigt sich denn auch, so weit

[1] $T = -2{\cdot}43 + 17{\cdot}61 \cos\varphi + (7{\cdot}05 + 19{\cdot}29\,n) \cos 2\varphi$.

unsere Beobachtung reicht, daß die Nord- und Südhemisphäre eine gleiche Mitteltemperatur von etwa 15° C besitzen.

§ 21. Isanomalen.

Nicht minder deutlich giebt sich der Einfluß der Land- und Meeresverteilung kund, wenn man, wie dies zuerst Dove gethan hat, die Abweichung der Temperatur jedes einzelnen Ortes von der Mitteltemperatur seines Parallelkreises ermittelt oder, wie dies neuerdings von Precht geschehen ist, die Abweichung von jener Temperatur sucht, die der betreffende Parallelkreis bei gleichmäßiger Land- und Meerverteilung besitzen würde.[1] Man hat die Punkte mit gleicher Abweichung („Anomalie") durch Linien, die Isanomalen, verbunden; auch diese Linien (Fig. 21, siehe Tafeln) lassen recht deutlich[2] in höheren Breiten (etwa oberhalb 40° Breite) das Land als zu kalt, das Meer als zu warm erkennen. Sie zeigen aber auch die wichtige, uns jedoch erst später durch die allgemeine Windverteilung verständliche Erscheinung, daß hier die Westküsten der Kontinente zu warm, die Ostküsten zu kalt sind. Die niederen Breiten verhalten sich dagegen in jeder Hinsicht umgekehrt. Auch den Einfluß der Meeresströmungen, wie z. B. des warmen Golfstromes an der Westküste Skandinaviens, lassen sie leicht erkennen.

§ 22. Abnahme der Temperatur mit der Höhe.

Bezüglich der vertikalen Temperaturverteilung haben die Beobachtungen bis zu den Höhen, wohin unsere Bergstationen

[1] Auch diese kann man ja aus der Spitalerschen Formel berechnen, indem mag $n = 0{\cdot}2443$, d. i. das Verhältnis von Land und Meer für die gesamte Erde, setzt.

[2] Wir verdanken es der Güte des Herrn Dr. W. Precht, daß wir die von ihm entworfene Isanomalenkarte in Fig. 21, hier zum ersten Mal veröffentlichen können.

reichen, als regelmäßige Erscheinung eine Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe, und zwar um rund einen halben Grad pro 100 m ergeben. Diese Abnahme ist stärker am Nachmittag, geringer in der Nacht, am größten in den Monaten Mai oder Juni (etwa 0·65° C pro 100 m), am kleinsten im Dezember oder Januar (etwa 0·35° C). Unmittelbar über dem Boden bis zu den Höhen von einigen Hundert Metern pflegt aber nachts und im Winter die Temperatur sogar mit der Höhe zuzunehmen, es stellt sich die sogenannte „Temperaturumkehr" ein. Besonders im Gebirge, wo sich die kalten, schwereren Luftmassen in Thälern und Kesseln ansammeln, also gerade die tiefsten Lagen im Winter abnorm niedrige Temperaturen aufweisen, ist diese Erscheinung sehr schön ausgeprägt. Die Temperatur wächst dann, zu je höheren Lagen man emporsteigt. In den Salzburger Tauern tritt diese Umkehr so oft ein, daß im Dezember- und Januar-Mittel die Temperaturabnahme nur 0·15° pro 100 m beträgt.

Umgekehrt zeigen im Hochsommer in den Nachmittagsstunden die dem erhitzten Erdboden unmittelbar benachbarten Schichten bis zu etwa 2 m Höhe oft eine außerordentlich rasche Temperaturabnahme.

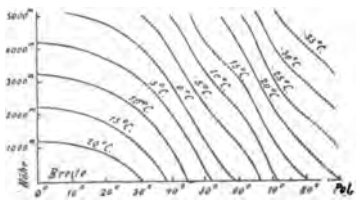


Fig. 22. Isothermen in einem Querschnitt durch die Atmosphäre.

Auch in den Tropen hat man eine Abnahme der Temperatur um etwa $^1/_2$° C pro 100 m gefunden, sodaß sich die Nullgradisotherme in etwa 5100 m Höhe befindet. Fig. 22 giebt eine übersichtliche Darstellung

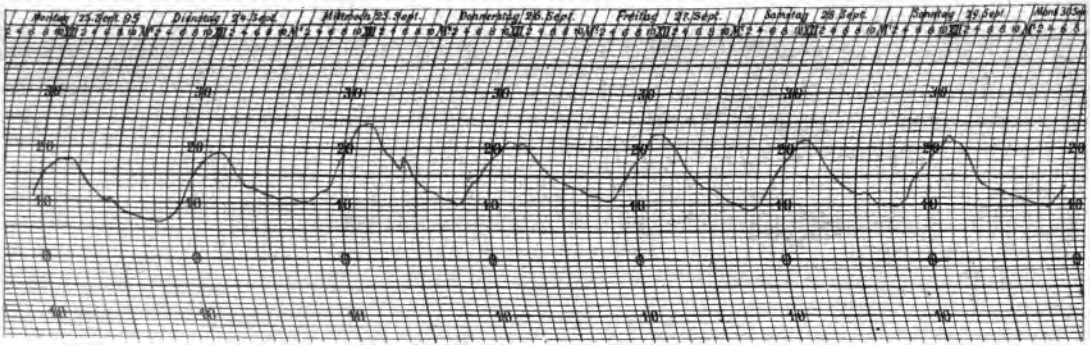
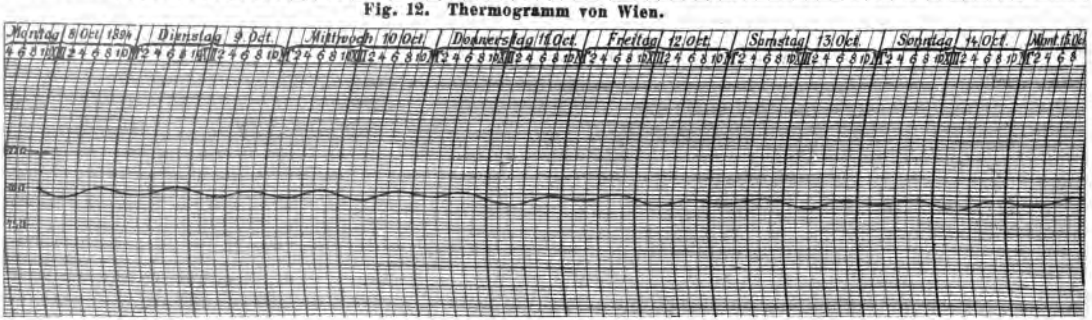


Fig. 12. Thermogramm von Wien.



des Ansteigens der einzelnen Isothermen vom Pol zum Aequator.

Doch nicht bloß im Gebirge hat man diese Temperaturabnahme gefunden: auch in der freien Atmosphäre ist die vertikale Temperaturverteilung eine nicht wesentlich andere.

Nach den neuesten Berliner Ballonfahrten, bei welchen durchaus mit einem Aspirationspsychrometer die Temperatur abgelesen wurde, ergaben sich für die Temperaturabnahme pro 100 m in °C in den einzelnen Höhenschichten die folgenden Werte;

Schichte	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9 km
Temp.-Abn.	0·50	0·50	0·54	0·53	0·64	0·69	0·68	0·72	0·90.

Die Temperatur nimmt um so rascher ab, je höher man steigt.

In wesentlich größeren Höhen als 10000 m können nun freilich wieder andere Verhältnisse herrschen. Vorläufig können wir darüber nichts aussagen. Es haben zwar Registrierballons aus noch viel bedeutenderen Höhen Aufzeichnungen zur Erde herabgebracht, ihre Angaben erscheinen aber bis jetzt noch nicht recht verläßlich. Die tiefsten Temperaturen, die registriert wurden, liegen unter — 70° C.

Die Erklärung dieser Temperaturabnahme mit der Höhe hat früher den Metereologen große Schwierigkeiten bereitet; heute wissen wir (im § 4 haben wir dies des näheren erörtert), daß jede vertikale Luftzirkulation in diesem Sinne wirken muß. Aufsteigende Luft kühlt sich ab, herabsinkende erwärmt sich. Trockene Luft kühlt sich beim Emporsteigen um 1° pro 100 m ab, gesättigte feuchte Luft etwa um $^1/_2$°. Darum liegen auch die beobachteten Werte der Temperaturabnahme zwischen diesen Grenzen. Bezold konnte daraus auch die raschere Temperaturabnahme in den größeren Höhen erklären. Hier kommt Wasserdampf nur in sehr geringen Beträgen vor, dann wird

aber auch die Temperaturabnahme, welche feuchte Luft beim Emporsteigen zeigt, nicht mehr viel von jener bei trockener Luft verschieden sein, d. h. in größeren Höhen muß sich die Temperaturabnahme mehr und mehr dem Betrage von 1° pro 100 m nähern.

Wir sehen so, welche Rolle die vertikalen Bewegungen für die Temperaturabnahme mit der Höhe spielen. Die eigentliche Ursache dieser letzteren ist aber der Umstand, daß die Wärme, welche der Luft durch direkte Absorption der Sonnenstrahlen zugeführt wird, nur sehr gering ist und ganz in den Hintergrund tritt, während als erste Wärmequelle für die Atmosphäre die durch die Sonnenstrahlen *erwärmte Erdoberfläche* in Betracht kommt. Je weiter wir uns von der Wärmequelle entfernen, um so tiefer wird die Temperatur sinken. Hiermit stimmt die Beobachtung überein, daß auch die Temperatur des Landes wie des Oceans im Durchschnitt um etwa 1° C wärmer ist, als die unterste Luftschichte. Im Sommer, besonders nachmittags, steigt über dem Lande dieser Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Luft oft zu sehr beträchtlichen Werten, selbst in unseren Gegenden bis zu 15° und mehr an. Wir wissen aber auch, daß nicht die Leitung die Wärme vom Erboden in die oberen Luftschichten emporführt (die Luft ist dazu ein viel zu schlechter Wärmeleiter), sondern daß das Aufsteigen der warmen, das Herabsinken der kalten Luft diesen Wärmeaustausch vermittelt. Auch die Rolle, welche hiebei der Wasserdampf spielt, haben wir schon (vergl. S. 19) kennen gelernt. Wo immer feuchte, gesättigte Luft aufsteigt, da tritt Kondensation ein, und die Wärme, welche der Wasserdampf bei seiner Verdampfung an der Erdoberfläche verbraucht hat, wird hierbei wieder frei und so an die oberen Luftschichten abgetreten. Außer bei der

Konvektion, die wir schon kennen gelernt haben, findet im Großen ein solches Aufsteigen feuchter Luft in den Cyklonen, ein Absteigen trockener Luft in den Anticyklonen statt. Hierauf kommen wir noch zu sprechen.

Der Luftdruck.

§ 23. Das Barometer.

Schon im Jahre 1644 wußte Toricelli die Tragweite des in § 2 besprochenen Versuchs wohl zu würdigen. Er erkannte, daß er in seiner Röhre ein Mittel entdeckt hatte, um die „Veränderungen der Luft, welche bald schwerer und dicker, bald leichter und dünner sei, zu messen".

In der That unterscheiden sich ja auch unsere gewöhnlichen Stationsbarometer (Fig. 23a) im Wesentlichen gar nicht von dem Apparate Toricellis. Nur ist zum Zweck bequemeren Ablesens schon das als Schutz der Glasröhre dienende Messingrohr mit einer meist in Millimeter geteilten Skala versehen. Wenn nun auch bei einem bestimmten Luftdruck der Nullpunkt der Skala mit dem Niveau des unteren, weiteren Gefäßes übereinstimmt, so muß doch, sobald der Luftdruck zunimmt und das Quecksilber im Barometerrohre steigt, das Niveau des Quecksilbers im weiteren Gefäße sinken und stimmt also nicht mehr mit dem Nullpunkt der Skala überein. Es ist bei solchen Instrumenten also nötig, wegen der Niveauänderung im weiteren Gefäße eine

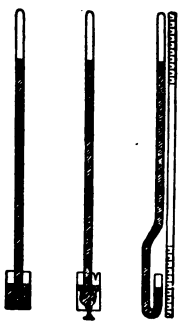


Fig. 23a, 23b, 23. c Barometer.

Korrektion anzubringen. Um nun dieser Unbequemlichkeit auszuweichen, hat Fortin Barometer konstruiert, bei welchen durch einen bewegbaren Lederboden das Quecksilber gehoben und gesenkt und auf eine Elfenbeinspitze, den Nullpunkt der Skala, eingestellt werden kann (Fig. 23b). In anderer Weise geht man beim Heberbarometer (Fig. 23c), einer einfachen u-förmig gebogenen Glasröhre, dieser Schwierigkeit aus dem Wege, indem man durch zwei Ablesungen den Stand in der längeren und der kürzeren Röhre ermittelt, und durch die Differenz wieder die Höhe der Quecksilbersäule erhält, welche der Luftdruck zu tragen vermag.

Da aber die Länge der Quecksilbersäule auch von der Temperatur abhängig ist, andererseits auch wegen der Verschiedenheit der Schwerkraft auf den verschiedenen Parallelkreisen das Gewicht des Quecksilbers nicht überall dasselbe ist, so ist, um genaue Daten zu erhalten, noch nötig, die „Temperaturkorrektion" auf 0° C und die „Schwerekorrektion" auf den 45. Breitenkreis anzubringen.[1]

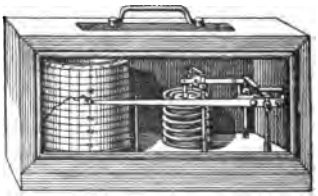


Fig. 24. Barograph.

Selbstverständlich kann man nicht bloß die Schwere, sondern auch andere Kräfte, z. B. die Elastizität einer luftleer gepumpten Blechdose, welche durch den Luftdruck mehr oder weniger zusammengepreßt wird, zu seiner Messung verwenden. In den Aneroid-Barometern[2] und den vielverbreiteten Richardschen selbstregistrierenden Barometern ist dieses Prinzip

[1] Tabellen, in denen diese Größen angegeben sind, finden sich z. B. in Jelineks Anleitung.

[2] Die besten Aneroide sind jene von Naudet in Paris.

zur Anwendung gebracht. Durch die Veränderungen der Dose wird ein Zeiger oder ein Schreibstift bewegt, an welchem ein Papierstreifen in bestimmter Zeit vorüberbewegt wird (Fig. 24). An Genauigkeit stehen übrigens diese Instrumente hinter dem Quecksilberbarometer zurück.

Ebenso hat man die Eigenschaft des Wassers, unter niedrigem Drucke schon bei tieferen Temperaturen zu sieden, benützt, um aus der Siedetemperatur, welche man mit wohlgeprüften Thermometern sehr genau bestimmen kann, den Luftdruck zu messen. In der That sind denn auch solche Siedethermometer ziemlich verläßliche Barometer.

§ 24. Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe.

Die wichtigste, zuerst von Pascal oder vielleicht von Descartes erkannte Eigenschaft des Luftdrucks, welche auch bei der barometrischen Höhenmessung von großer praktischer Bedeutung ist, ist dessen Abnahme mit wachsender Höhe. Da die Dichte der Luft in bekannter Weise von Temperatur und Druck abhängt, so ist es nicht schwer, das Gewicht einer bestimmten Luftsäule zu ermitteln, und man ist dabei zu der Formel gelangt:

$$h = 18400 \left(1{\cdot}00157 + 0{\cdot}003667 \frac{T+t}{2} \right) \log \frac{B}{b}$$

welche genähert die Beziehung zwischen Höhe h, den Temperaturen (T unten und t oben) und den Barometerständen B (unten) und b (oben) darstellt.

In der folgenden Tabelle ist unter Annahme einer Temperaturabnahme von 0·5 ° C pro 100 m der Barometerstand einzelner Höhen für verschiedene Temperaturen berechnet worden.

Luftdruck in verschiedenen Höhen.

Temp. im Meeresniveau	— 15° C	0° C	15° C	30° C
Höhe:		Millimeter:		
10000 m	176	193	209	224
5000	380	395	410	424
4000	439	453	466	479
3000	505	517	528	539
2000	581	590	598	606
1000	665	670	675	679
500	711	713	715	718
Meeresn.	760	760	760	760

Da eine warme Luftsäule leichter ist, so muß hier die Differenz zwischen unten und oben geringer sein. Ist somit innerhalb zweier verschieden warmer Luftsäulen der Luftdruck unten derselbe, so wird in der wärmeren Säule der Druck oben allein wegen der höheren Temperatur viel größer sein. Die obige Tabelle läßt diese Erscheinung deutlich erkennen.

Bei überall gleicher Temperatur herrscht in einer zur Erdoberfläche parallelen Ebene natürlich gleicher Druck, bei ungleicher Temperatur steigen die Flächen, in welcher der Druck derselbe ist, die „Flächen gleichen Druckes" gegen das wärmere Gebiet hin an.

In einer Höhe von 64 km beträgt der Druck nur noch etwa 0·05 mm; die Luft ist hier so dünn, daß sie die Strahlen nicht mehr zu brechen vermag. Diese Höhe kann man praktisch als die Grenze der Atmosphäre betrachten. Nach dem Aufleuchten der Sternschnuppen nach der Höhe des Nordlichts und anderen Erscheinungen zu schließen, muß aber eine Ausdehnung der Atmosphäre noch bis mindestens 300 km Höhe angenommen werden.

§ 25. Luftdruckverteilung.

Auch am Meeresniveau herrscht keineswegs immer und überall der normale Luftdruck von 760 mm. Nach den Isobarenkarten, Karten, welche die Linien gleichen Barometerstandes darstellen, werden die Hauptunterschiede durch die Land- und Meeresverteilung bedingt. (Vergl. Fig. 30 und 31, Tafeln.) Im Sommer hat das Land niedrigen, das Meer hohen Luftdruck, im Winter ist das Verhältnis umgekehrt; denn die Luft dehnt sich über erwärmten Gebieten aus und fließt zum Teil nach den Seiten ab. Abgesehen von diesen Unterschieden lassen die mittleren Luftdrucke der einzelnen Parallelkreise an der Erdoberfläche deutlich einen Gürtel niedrigen Luftdrucks am Aequator erkennen und in etwa 35° Breite sowohl auf der Nord- als auf der Südhemisphäre einen Gürtel hohen Druckes. Von hieraus nimmt der Druck bis etwa zum 60. Breitenkreis ab, von da bis zum Pol wahrscheinlich wieder zu.

Uebrigens sind im Niveau des Meeres, wie die folgende Tabelle lehrt, diese Unterschiede keineswegs groß; in den höheren Luftschichten werden wir dagegen nach den Gesetzen des mit wachsender Höhe abnehmenden Luftdrucks, wegen des großen Temperaturgegensatzes zwischen Aequator und Pol, in den niederen Breiten hohen, in den höheren in demselben Niveau weit niedrigeren Luftdruck zu erwarten haben. Die Beobachtungen bestätigen diesen Schluß auf das Vorhandensein eines beträchtlichen Druckgefälles in den oberen Luftschichten von Wärmeäquator bis zum Pol. Die folgende Tabelle giebt eine übersichtliche Darstellung davon.

Luftdruckverteilung auf der Nordhemisphäre.

Breite:	0°	15°	30°	45°	60°	
In 5000 m:	420·1	420·8	416·0	405·5	392·6	mm
In 2500 m:	568·1	568·8	567·9	560·1	550·6	mm
Im Meeresniv.:	758·0	758·7	762·6	761·9	759·2	mm

§ 26. Täglicher und jährlicher Gang des Luftdrucks.

Während bei uns die Schwankungen des Luftdrucks von Tag zu Tag außerordentlich beträchtlich sind, zeigt in den Tropen das Barometer einen ganz überraschend regelmäßigen Gang. Auf dem in Fig. 25 (siehe Tafeln) reproduzierten, aus einer längeren Reihe willkürlich herausgegriffenen Barogramm von Jaluit sehen wir diese regelmäßige, Tag für Tag sich wiederholende doppelte Welle mit dem tieferen Minimum um etwa 3^h nachm., dem weniger tiefen um 3^h nachts, und den beiden Maximis um etwa 9^h abends und 9^h früh. Wir haben es mit einer doppelten Welle zu thun, die aber — das zeigt uns die ungleiche Größe der beiden Minima — noch von einer einfachen Welle (mit einem Maximum und einem Minimum im Tage) überlagert ist. Es läßt sich diese Welle durch die Formel darstellen:

$$a_1 \sin (A_1 + x) + a_2 \sin (A_2 + 2x)$$

wobei a_1 die Amplitude der einfachen, a_2 jene der doppelten Welle ist,[1] A_1 und A_2 gewisse von der Lage der Maxima abhängige Winkelkonstanten sind, und x für Mitternacht 0, für 1^h nachts 15°, für 2^h . . 30°, für 3^h . . 35° u. s. w. zu setzen ist.

Hann hat gezeigt, daß auf der ganzen Erde der Gang des Luftdrucks sich aus zwei derartigen Wellen zusammensetze, und daß insbesondere die doppelte, meist auch größere Welle, überall eine merkwürdige Gesetzmäßigkeit aufweise. Ihre Amplitude[2] nimmt regelmäßig mit der Breite und (proportional

[1] Hiernach ist also $2a$ d. i. die doppelte Amplitude die Differenz zwischen Maximum und Minimum. Man bezeichnet aber auch vielfach (vergl. S. 47) diese Differenz schlechtweg als Amplitude

[2] Am Aequator beträgt die Schwankung (doppelte Amplitude) etwa 2 mm.

dem Luftdruck) mit der Seehöhe ab; die Eintrittszeit der Maxima fällt aber fast überall auf etwa 9^h 40 vormittags und abends.

Weit weniger regelmäßig verhält sich die einfache Welle; doch ist es Hann gelungen, nachzuweisen, daß sich alle Unterschiede durch den Einfluß des täglichen Temperaturganges erklären lassen. Auf hohen Bergen ist der tägliche Gang des Luftdrucks wesentlich entstellt; das Nachtminimum zeigt sich bedeutend vertieft,[1] während von dem Nachmittags-Minimum fast nichts mehr zu sehen und an seine Stelle das beträchtlich verspätete Vormittags-Maximum getreten ist. Nur die Erwärmung der Luft und die dadurch bewirkte Drucksteigerung[2] ist die Ursache dieser Erscheinung; und die Differenz des Luftdruckganges Sonnblick-München zeigt denn auch ganz den Charakter einer Temperaturkurve. Wir verstehen jetzt, wie es Hann möglich war, aus der Differenz des Luftdrucks oben und unten (vgl. S. 48) den Gang der Temperatur der zwischenliegenden Luftschichte zu berechnen.

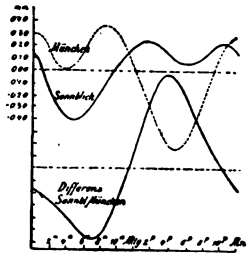


Fig. 26. Täglicher Gang des Luftdruckes.

Sehen wir von diesen durch die Temperaturdifferenzen hervorgerufenen Unterschieden ab, so ist das eigentlich Charakteristische des Luftdruckganges eine regelmäßige doppelte tägliche Welle! Woher kommt sie? Die hervorragendsten

[1] Vergl. die Gegenüberstellung des Ganges von München und Sonnblick Fig. 26.

[2] Nach der Tabelle auf S. 61 bewirkt ja eine Temperatursteigerung um 1° C in 3000 m Höhe schon eine Drucksteigerung von fast 1 mm.

Physiker und Meteorologen haben sich vergebens um eine Erklärung derselben bemüht, aber in jüngster Zeit ist, wie wir im nächsten Paragraphen sehen werden, doch ein Anhaltspunkt zur Erklärung derselben gewonnen worden.

Von einem jährlichen Gang des Luftdrucks ist in unseren Gegenden wenig zu merken. Auf Bergen dagegen haben wir, auch wieder wegen der Temperaturunterschiede, hohen Druck im Sommer, geringen im Winter. Aber auch manche Orte an der Erdoberfläche, besonders im Innern der Kontinente, z. B. Sibirien, weisen, wie ein Blick auf die Isobarenkarten lehrt (Fig. 30 und 31), große Druckunterschiede zwischen Sommer und Winter auf.

§ 27. Schwingungen der Atmosphäre.

Wo immer in einer abgeschlossenen Luftmenge auf irgend eine Weise eine Druck- oder Dichteänderung hervorgebracht wird, gleicht sich diese Gleichgewichtsstörung nicht sofort wieder aus, sondern es treten, je nach der Reibung, mehr oder weniger schnell erlöschende Schwingungen ein, aber stets nur Schwingungen gewisser Art, die durch die Gestalt des Luftquantums bestimmt sind. Die Orgelpfeifen bieten uns diesbezüglich ein anschauliches Beispiel; durch ihre Länge sind die möglichen Schwingungen (Töne) vollständig bestimmt. Auch die Atmosphäre ist eine abgegrenzte Luftmasse in Form einer Kugelschale; wird nicht auch sie auf gewisse Schwingungen „abgestimmt“ sein?

Lord Rayleigh hat diese Frage aufgeworfen, und Margules hat sie mit Berücksichtigung der Erdrotation und Reibung gelöst. In der That stellte sich denn heraus, daß auch in unserer Atmosphäre nur gewisse Schwingungen (d. i. wellenförmige Bewegungen) möglich sind. Es würde uns zuweit

führen, diese möglichen Wellen einzeln zu besprechen, und für unsere Zwecke genügt es auch, einige wenige herauszugreifen; so sind z. B. Wellen mit einem Dichte-Maximum und einem Minimum, welche in westlicher Richtung längs der Parallelkreise die Erde umkreisen, möglich, aber unter ihnen nur solche von ganz bestimmter Schwingungsdauer. Margules hat die Schwingungsdauer dieser möglichen Wellen zu 13·87, 9·22, 6·63 ... Stunden berechnet.[1] Aber auch doppelte Wellen (2 Maxima und Minima) sind möglich und wieder unter ihnen nur bestimmte Schwingungsdauern, wie 11·94 u. s. w. (alle folgenden kleiner).

Was bedeutet das nun? Zunächst haben wir es allerdings mit einer zwar interessanten, aber nur theoretischen Untersuchung zu thun, obwohl es denkbar wäre, daß durch einen besonders heftigen Vulkanausbruch auch thatsächlich solche Schwingungen der Atmosphäre angeregt würden. Im Hinblick auf die tägliche Luftschwankung aber hat diese Untersuchung auch ein großes praktisches Interesse.

Es ist höchst wahrscheinlich, daß die Ursache des täglichen Barometerganges in der täglichen Temperaturschwankung zu suchen ist. Diese letztere können wir ja als eine Wärmewelle auffassen, die mit der Sonne um die Erde wandert. Die Rechnung lehrt nun in der That, daß, wenn eine Temperaturwelle die Erde umkreist, durch dieselbe auch eine Druckwelle von gleicher Gestalt und Schwingungsdauer erzeugt wird, eine Welle, die wir — im Gegensatz zu den früheren „freien" — als „erzwungene" Schwingung bezeichnen wollen. Eine einfache Temperaturwelle erzeugt eine einfache Druckwelle, eine doppelte wieder eine doppelte u. s. w.

[1] Alle folgenden haben kleinere Schwingungsdauern.

Wir wissen, daß die tägliche Temperaturschwankung der Hauptsache nach eine einfache Welle ist, betrachten wir sie aber näher, so erkennen wir, daß sie keineswegs eine reine einfache Sinus-Welle ist, sondern daß auch sie sich mathematisch als Uebereinanderlagerung verschiedener Wellen

$$a_1 \sin (A_1 + x) + a_2 \sin (A_2 + 2x) + \ldots .$$

darstellen läßt, nur überwiegt a_1 die Amplitude der einfachen Welle beträchtlich.

Jede dieser Temperaturwellen wird nun eine entsprechende Druckwelle erzeugen, wir werden also eine solche von 24 Stunden und eine solche von 12 Stunden zu erwarten haben.

Wie kommt es nun, daß, obwohl bei der Temperatur die einfache Welle überwiegt, doch beim Luftdruck die doppelte Welle die Haupterscheinung ist?

Für die Beantwortung dieser Frage ist nun die obige Untersuchung sehr lehrreich. Es geht nämlich aus der Rechnung hervor, daß die Amplitude einer erzwungenen Druckwelle um so größer wird, je näher ihre Schwingungsdauer der Schwingungsdauer einer möglichen freien Welle liegt.

Bei der erzwungenen einfachen Druckwelle ist nun die Schwingungsdauer 24 Stunden, diese liegt weit weg von 13·87, der größten Schwingungsdauer der möglichen einfachen Wellen; die Schwingungsdauer von 12 Stunden bei der erzwungenen doppelten Welle liegt aber zufällig sehr nahe jener der freien Wellen 11·94; es wird also die kleine doppelte Temperaturwelle zu einer verhältnismäßig viel größeren doppelten Druckwelle Veranlassung geben, als dies bei der einfachen Temperatur- und Druckwelle der Fall ist. Hierin liegt nach Margules die Erklärung der doppelten täglichen Luftdruckschwankung.

Bewegungserscheinungen der Atmosphäre.

§ 28. Windmessung.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit charakterisieren die Bewegung der Luft. Die Windrichtung ermitteln wir mittels der Windfahne. Wir beschränken uns dabei meist auf die Feststellung von acht verschiedenen Windrichtungen: Nord, Nord-Ost, Ost, Süd-Ost, Süd, Süd-West u. s. w.; bei genaueren Angaben pflegt man aber noch Zwischenrichtungen: Nord-Nord-Ost, Ost-Süd-Ost u. s. w. einzuschalten. Fig. 27 giebt eine übersichtliche Darstellung der Windrichtungen und ihre Bezeichnung durch die Anfangsbuchstaben der Windrichtung. Nur für den Ostwind hat man nach internationaler Vereinbarung den Buchstaben E (East englisch) gewählt, um Verwechslungen mit dem französischen „Ouest“ zu vermeiden.

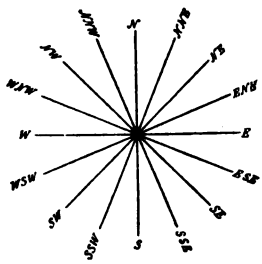


Fig. 27. Windrose.

Zur Messung der Windstärke oder Windgeschwindigkeit ist man auf Schätzungen, gewöhnlich nach einer willkürlichen zehnteiligen oder auch zwölfteiligen Skala, angewiesen. „Anemometer“ (Windmesser), welche die Windgeschwindigkeit unmittelbar in Metern pro Sekunde oder in Kilometern pro Stunde an-

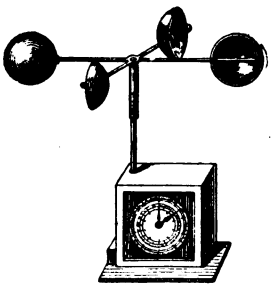


Fig. 28. Anemometer.

geben, indem die Zahl der Rotationen und damit die Geschwindigkeit eines Schalenkreuzes (Fig 28) in zweckmäßiger Weise durch einen Schreibapparat registriert wird, sind so kostspielig, daß sie nur auf wenigen Hauptstationen zur Verwendung gelangen. Man hat übrigens gefunden, daß man Windgeschwindigkeit auch nach Schätzungen recht gut beurteilen kann. Nach Hann entsprechen einander die folgenden geschätzten Windstärken und -geschwindigkeiten in Metern pro Sekunde:

	Wind					Sturm				Orkan
Stärke:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geschwind.	1·5	3·7	6·2	8·8	11·8	15·0	18·8	24·0	32·8	50·0

§ 29. Bewegende Kräfte.

Wie jeder Körper, so würde auch die Luft nach dem Gesetz des Beharrungsvermögens die Bewegung, welche sie einmal besitzt, beibehalten, wenn nicht die Reibung der Luftteilchen aneinander und an der Erdoberfläche die Bewegung bald zum Stillstand brächte. Wo wir also andauernd eine gewisse Luftbewegung beobachten, müssen bewegende Kräfte vorhanden sein, welche die Reibung zu überwinden vermögen.

Die wichtigste treibende Kraft bei der Bewegung der Luft ist der Druckunterschied oder „Gradient". Wo hoher Luftdruck herrscht, wo ein Luftüberschuß vorhanden ist, von dort her strömt die Luft weg zu Gebieten von niedrigem Luftdruck. Je größer der Druckunterschied längs einer bestimmten Strecke ist, um so größer ist die bewegende Kraft, das Bestreben diese Unterschiede wieder auszugleichen. Man mißt diese Kraft, das „Druckgefälle" oder den „Gradienten", in mm Luftdruckdifferenz pro Aequatorgrad (= 111 km) und hat gefunden, daß einem Gradienten von 1 mm etwa eine Windgeschwindigkeit von 3—5 m pro Sekunde entspricht.

Der Druckunterschied ist aber keineswegs die einzige wirkende Kraft. Eine gleichfalls höchst wichtige Kraft, die lediglich deshalb eintritt, weil die Bewegungen der Luft auf einer Kugeloberfläche und zwar einer rotierenden Kugel vor sich gehen, ist die „ablenkende Kraft der Erdrotation". Diese bewirkt, daß jeder bewegte Körper auf der Erdoberfläche, also auch jede Luftbewegung auf der Nordhemisphäre nach rechts, auf der Südhemisphäre nach links, und zwar um so stärker abgelenkt wird je näher man dem Pole rückt. Ihr ist es somit zuzuschreiben, daß die Bewegung der Luft stets schief (Fig. 29) gegen die Richtung des Druckgefälls vor sich geht. Daher wird jeder Nordwind gegen Westen, jeder Ost gegen Norden, jeder Süd gegen Osten u. s. w. abgelenkt. Aber nicht bloß die horizontalen Luftbewegungen, auch die vertikalen sind dieser ablenkenden Kraft unterworfen: jeder aufsteigende Luftstrom wird eine Ablenkung nach Westen, jeder absteigende eine solche nach Osten erfahren.

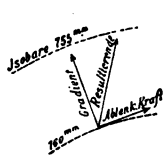


Fig. 29.

§ 30. Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre.

Aus dieser Erörterung der treibenden Kräfte ergiebt sich, daß auch die Verteilung der Winde im Wesentlichen durch die Verteilung des Luftdrucks (vergl. die Isobarenkarten Fig. 30 und 31 s. Tafeln) bestimmt ist. Wo nicht durch den Einfluß des Landes die regelmäßige Druckverteilung gestört ist, wird von dem bereits besprochenen Gürtel hohen Druckes in der Gegend des 35. Breitekreises nach beiden Seiten hin die Luft abströmen. Wegen der ablenkenden Kraft der Erdrotation wird aber diese Strömung auf der Nordhemisphäre in den niederen Breiten als NE-Wind (der „NE-Passat"), in der

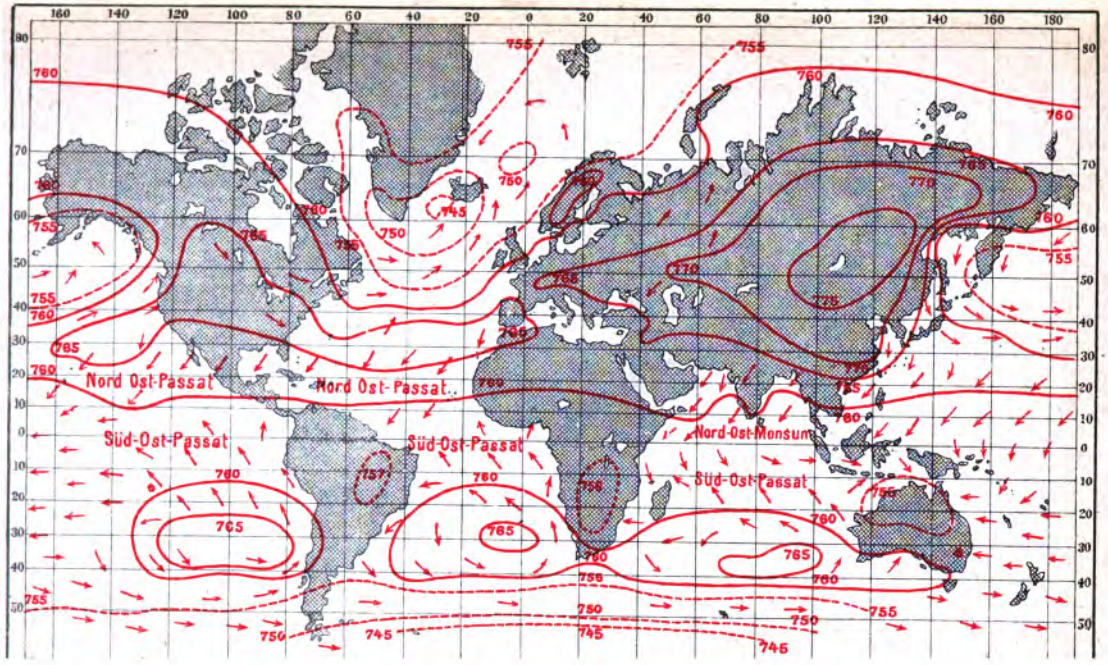
höheren Breiten als SW-Wind und analog auf der Südhemisphäre in den niederen Breiten als „SE-Passat", in den höheren als NW-Wind erscheinen.

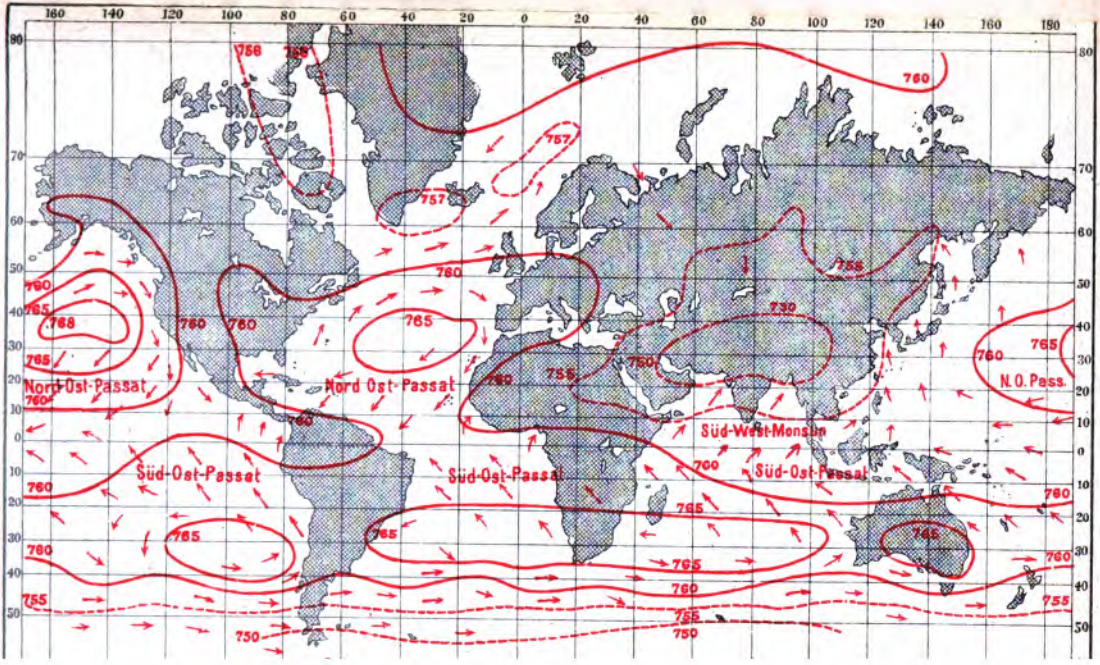
Am Aequator selbst herrscht verhältnismäßige Windstille. Ueber dem wenige Grade breiten Gürtel der dortigen „Calmenzone" hat die Luft allein eine aufsteigende Bewegung; nur in den höheren Schichten geht dieselbe wegen der ablenkenden Kraft in einen Ostwind über. Dagegen treffen wir auf beiden Seiten des Aequators in den höheren Schichten durchweg ein Gefälle vom Aequator zum Pol (vergl. S. 63), also vermöge der Ablenkungskraft der Erdrotation auf der Nordhemisphäre SW-, auf der Südhemisphäre NW-liche Winde.

Da aber mit wachsender Breite die Parallelkreise immer kleiner werden, so wird schon in mittleren Breiten (etwa 35° Br.) die polwärts gerichtete Oberströmung wegen der eintretenden Stauung sich senken und zur Entstehung jener Gürtel hohen Druckes Veranlassung geben, die sich auf beiden Hemisphären in den mittleren Breiten um die Erde schlingen.

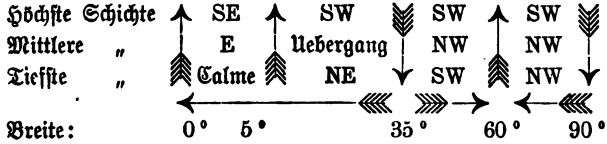
Was die Windverhältnisse der Breiten oberhalb des 60. Parallelkreises betrifft, so können wir mit weit geringerer Sicherheit darüber Auskunft geben; doch hat es den Anschein, daß jenseits des 60. Parallels der Luftdruck gegen den Pol wieder zunimmt. Ueber dem 60. Breitenkreise würden wir somit wieder eine aufsteigende Bewegung annehmen müssen, und die vom Pol kommenden Winde würden sich dann in einer Schichte mittlerer Höhe vermöge des Beharrungsvermögens auch noch bis in niedrige Breiten fortsetzen.

Für die Nordhemisphäre erhielten wir hiernach ein Bild der atmosphärischen Zirkulation, wie es das folgende Schema übersichtlich darstellt.


Nord Ost-Passat
Nord Ost-Passat
Nord-Ost-Monsun
Süd-Ost-Passat
Süd-Ost-Passat
Süd-Ost-Passat


160 140 120 100 80 60 40 20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 10 20 30 40 50
758 755 760 757 757 760 760 765 768 760 760 765 765 760 760 765 760 755 760 765 760 765 765 760 765 760 755 750
Nord-Ost-Passat
Nord Ost-Passat
Süd-Ost-Passat
Süd-Ost-Passat
Süd-West-Monsun
Süd-Ost-Passat
N.O. Pass.

Windverteilung auf der Nordhemisphäre.



Haben wir nun auch die Druckdifferenzen und die ablenkende Kraft der Erdrotation, als die unmittelbaren Ursachen dieser Windverteilung erkannt, so muß doch als die eigentliche treibende Kraft für die unsere ganze Atmosphäre umfassende Zirkulation, wie sich diese im Mittel, abgesehen von örtlichen und zeitlichen Störungen, ergiebt, der Temperaturgegensatz zwischen Pol und Aequator angesehen werden. Durch diesen wird ja in den höheren Schichten die Hebung der Flächen gleichen Druckes am Aequator (s. S. 62) und damit jenes Luftdruck-Gefälle vom Aequator zum Pol bedingt, welches die Luft oben vom Aequator weg gegen die höheren Breiten führt und dadurch ein Nachströmen teils am Aequator von unten nach oben, teils an der Erdoberfläche aus den höheren Breiten gegen den Aequator verursacht.

Hadley war der erste, der den Passat aus dem Temperaturgegensatz zwischen den höheren und niederen Breiten in Verbindung mit der ablenkenden Kraft der Erdrotation erklärte. Dove dehnte diese Erklärung auf die allgemeine Zirkulation aus.

In Europa hat aber zuerst Hann die richtige Auffassung vertreten, wonach die Hebung der Flächen gleichen Drucks infolge des Temperaturgegensatzes als unmittelbare Ursache der Zirkulation anzusehen ist. Schon früher hat Ferrel in Amerika die richtige Erklärung gegeben. Er und später Oberbeck haben auch eine strenge Theorie der allgemeinen

Luftzirkulation entwickelt. Mannigfache Beiträge dazu haben Möller, Pernter, Siemens und Sprung geliefert.

§ 31. Periodische Aenderungen der Windrichtung und Stärke.

Wie die Luftdruckverteilung örtlich und jahreszeitlich sehr beträchtlich von der mittleren Druckverteilung abweicht, so werden auch örtlich beträchtliche Abweichungen von der allgemeinen Zirkulation mit vielfach periodischem Charakter eintreten. Der hohe Druck auf dem Lande im Winter, der tiefe im Sommer bedingt ein regelmäßiges Wechselspiel zwischen Land- und Seewind, ein Spiel, das wir in besonders entwickelter Form am asiatischen Kontinent beobachten können, und zwar am deutlichsten im Indischen Ozean bei den „Monsunen", dem SW-Monsun im Sommer, dem NE-Monsun im Winter. Auch hier tritt infolge der Erdrotation eine Ablenkung der Winde nach rechts ein.

Wird sich aber nicht dieselbe Erscheinung an den Meeresküsten infolge des periodischen Temperaturwechsels im Lauf eines Tages zeigen müssen? In der That ist es eine an allen Küsten beobachtete Erscheinung, daß morgens, wenn sich das Land zu erwärmen beginnt, und infolgedessen der Luftdruck hier fällt, der Wind von der See her einsetzt (Seewind) und abends, wenn umgekehrt infolge der langsameren Abkühlung auf dem Meere der Luftdruck tiefer ist, der Landwind an dessen Stelle tritt. Dieser Vorgang finde nach Blanford gleichfalls in der Hebung der Flächen gleichen Druckes über dem wärmeren Gebiet seine Erklärung.

Ein ganz ähnliches Verhältnis beobachten wir in Gebirgsthälern. Auch hier haben wir es mit einer periodischen

Luftverlagerung zu thun, die sich nach Hann auf folgende Weise erklärt. Es stelle Fig. 32 den Längsschnitt eines Thales vor, dessen Boden von M gegen N ansteigt. Da es in den höheren Lagen eine viel kürzere Luftsäule NB ist, die sich bei der Erhöhung der Temperatur im Lauf des Vormittags ausdehnt, als in den tieferen Thallagen etwa bei M, so wird auch über das Niveau ABC um so weniger Luft hinaufrücken, je mehr wir uns dem Thalschlusse nähern. Es wird also im Niveau ABC der Druck von C gegen A fortlaufend zunehmen, und die Flächen gleichen Druckes A'B'C werden im Thale sich heben. Während des Temperaturanstieges wird somit die Luft das Thal hinaufgetrieben werden (Thalwind), während der nächtlichen Abkühlung wird sich eine Senkung der Flächen gleichen Druckes einstellen: die Luft weht als Bergwind von C gegen A.

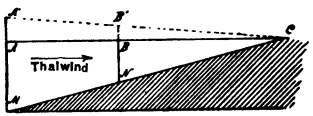


Fig. 32. Berg- und Thalwind.

Jedoch nicht bloß örtlich, sondern ganz allgemein zeigt sich eine periodische Schwankung der Windgeschwindigkeit. Während man ziemlich allgemein an der Erdoberfläche um die Mittagszeit ein Maximum der Windstärke verzeichnen konnte und ein Minimum in den Nachtstunden, ergab sich auf Berggipfeln die bemerkenswerte Beobachtung, daß hier die Windgeschwindigkeit ihre größten Werte in den Nachtstunden, ihre kleinsten um Mittag erreicht. Diese Erscheinung hat man früher für eine anormale gehalten; heute steht es fest, daß vielmehr dieser Gang (Minimum mittags, Maximum nachts) der eigentlich normale ist und sich etwa von der Höhe des Eifelturms (ca. 300 m) bis in die Höhen des Pikes-Peaks (4300 m) vorfindet.

Wie aber erklärt sich dann der entgegengesetzte Gang in der Niederung? Espy und Köppen haben schon lange eine sehr einfache Erklärung für diese Erscheinung geliefert. Wir wissen, daß zur Zeit der Erwärmung der Luft ein fortwährender Austausch zwischen der erwärmten unteren und der kühleren oberen Luft stattfindet. Da nun aber wegen der beträchtlichen Reibung der Luft an der Erdoberfläche die Windgeschwindigkeit mit der Erhebung über den Erdboden ziemlich rasch zunimmt, so wird auch die herabsinkende, kältere Luft eine größere Geschwindigkeit besitzen. Es wird also im Lauf des Tages die langsam bewegte Luft der unteren Schichten durch schneller bewegte der oberen Schichten ersetzt, und so an der Erdoberfläche um die Mittagszeit ein Maximum verursacht werden.

Während nun diese Erklärung des abweichenden Ganges in der Niederung als richtig befunden worden ist, steht die Erklärung des normalen Ganges der Windgeschwindigkeit heute noch aus.

Auch im Laufe des Jahrs erleidet die Windgeschwindigkeit eine periodische Verstärkung und Abschwächung: im Winter ist dieselbe größer, im Sommer kleiner; sind ja doch im Winter auch die Druckgegensätze auf unserer Hemisphäre viel größere als im Sommer.

§ 32. Lokale Winde.

Unter den örtlichen Winden erwähnen wir an erster Stelle jenen heißen, trockenen, unter dem Namen Föhn allgemein bekannten Wind, welcher hauptsächlich an der Nordseite, aber auch an der Südseite der Alpen und in anderen Gebirgen auftritt. Lange Zeit hat man geglaubt, derselbe komme aus der Sahara und verdanke diesem Umstand seine

große Trockenheit und hohe Temperatur; heute weiß man, daß sich ein Föhn überall bilden kann, wo ein Luftstrom gezwungen wird, ein Gebirge zu übersteigen, daß aber dieser Wind nur an der Rückseite des Gebirges (Leeseite = Windschattenseite) heiß und trocken erscheint, während er an der Vorderseite (Luvseite) kalt und naß ist.

Die wahre Ursache dieser Erscheinung hat zuerst Hann aufgedeckt, indem er darauf hinwies, daß, wo feuchte Luft aufzusteigen gezwungen wird, infolge der Abkühlung Kondensation eintritt, daß also an der Luvseite eines Gebirges jeder Wind, wenn er nicht schon an und für sich einen hohen Trockenheitsgrad besitzt, zu Niederschlägen Veranlassung geben muß, also hier feucht und kalt erscheinen wird. Was aber wird an der Leeseite eintreten, wo die Luft sich von den Kämmen des Gebirges herabsenkt? Denken wir uns, ein feuchter, gesättigter Luftstrom von 15° Temperatur habe einen nur 2000 m hohen Gebirgsrücken zu überschreiten. Da bei Kondensation die aufsteigende Luft sich um etwa $^1/_2$° C pro 100 m abkühlt (vgl. S. 19), so wird die Luft in 2000 m Höhe mit einer Temperatur von etwa 5° C anlangen. Was aber geschieht nun an der Leeseite des Gebirges? Da bei dem Herabsinken, wo keine Kondensation erfolgt, die Luft sich viel rascher erwärmt, nämlich um 1° C pro 100 m, so muß unser Luftstrom unten mit einer Temperatur von 25° C, d. h. um 10° wärmer ankommen als an der Vorderseite des Gebirges. Weil er aber unterwegs den größten Teil seiner Feuchtigkeit verloren hat, so wird er nicht bloß warm, sondern auch außerordentlich trocken erscheinen.

Ein anderer, gleichfalls herabsinkender oder vielmehr fallender Wind ist die Bora, welche besonders an den Küsten von Istrien und Dalmatien gefürchtet ist. Hier, in den

schneebedeckten Kesseln und Thälern des Karstes sammelt sich im Winter die kalte Luft an; wenn sie nun von der allgemeinen Luftbewegung gegen die Adria getrieben wird, so stürzt sie mit großer Geschwindigkeit herab. Wie beim Föhn erwärmt sich die Luft auch bei der Bora, aber wegen ihrer niedrigen Anfangstemperatur bringt sie trotzdem neben der Trockenheit große Kälte. Aus dieser Eigentümlichkeit des „Fallwindes" erklärt sich auch das Wehen der Bora in heftigen Stößen, wobei in Triest schon eine Windgeschwindigkeit von 45 m pro Sekunde beobachtet worden ist. Der Bora ähnlich ist der Mistral des Rhonethals, und auch anderwärts, wie im Kaukasus und in Texas, hat man Winde boraartigen Charakters beobachtet.

Fast den entgegengesetzten Charakter wie die Bora hat der gleichfalls über der Adria und in Italien wehende, warme, feuchte, regenbringende Scirocco, der bei manchen Wetterlagen auftritt und Luft aus den südlichen Teilen des Mittelländischen Meers in nördlichere Gegenden trägt. Der Levesche Spaniens hat mit ihm manche Aehnlichkeit. Ein anderer gefürchteter Lokal-Wind ist der Samum oder Chamsin, der im nördlichen Afrika, in Aegypten und in Arabien auftritt und die heiße, oft bis 50° C erwärmte, mit feinem Staub gemischte Luft der Wüste Sahara mit sich führt. Bis nach Europa vermag jedoch dieser Wüstenwind seinen Einfluß nicht zu erstrecken. Ein anderer, gleichfalls mit Staub beladener Wüstenwind, der an der Westküste Afrikas als heißer Ostwind erscheint, ist der Harmattan.

§ 33. Cyklonen und Anticyklonen.

Das Auftreten der eben besprochenen örtlichen Winde ist stets durch Störungen der regelmäßigen, allgemeinen Zirku-

lation bedingt, Störungen, welche wiederum in dem zeitweiligen Auftreten von Gebieten hohen und tiefen Luftdruckes ihren Grund haben. Wie ist es nun aber möglich, daß sich oft längere Zeit hindurch solche Gebiete niedrigen Drucks erhalten, ohne sich auszufüllen, da doch die Gradientkraft die Luft von den Gebieten hohen zu jenen tiefen Druckes zu bewegen strebt? In der That wären dieselben auch nur kurze Zeit möglich, wenn nicht die ablenkende Kraft der Erdrotation bewirken würde, daß die Luft in ihrer Bewegung von der Richtung der Gradientkraft seitlich abgelenkt wird, also nicht gradlinig, sondern wirbelartig, in spiralförmigen Linien sich dem Zentrum des tiefen Druckes nähert. (Fig. 33.) Die ablenkende Kraft und die infolge der krummlinigen Bewegung auftretende Centrifugalkraft wirken eben der Gradientkraft entgegen und verhindern teilweise das Einströmen der Luft in das Gebiet geringeren Luftdrucks.

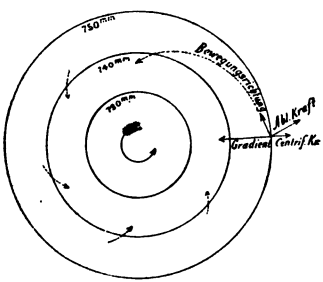


Fig. 33. Luftbewegung in der Cyklone.

Man nennt diese kreis- oder ellipsenförmigen Gebiete niedrigen Luftdrucks, um welche die Luft sich wirbelartig herumbewegt, ganz allgemein Cyklonen. Dieser Ausdruck wird vielfach nur für jene Wirbel gebraucht, welche in unseren Breiten vorkommen, hier weite Gebiete, oft einen großen Teil von Europa umfassen und auch als „Barometer-Depressionen" bezeichnet werden. Oft versteht man darunter auch Wirbel kleinerer Ausdehnung, doch pflegt man sie dann, wenn sie sich noch völlig überblicken lassen, Tromben oder Tornados,

wenn sie größer sind und bereits ihre horizontale Ausdehnung die vertikale übertrifft, *Teifune* zu nennen.

Uebrigens besteht nicht bloß ein äußerlicher, sondern auch ein innerer Gegensatz zwischen diesen Gebilden. Bei den Cyklonen unserer Breiten übersteigt bei weitem die ablenkende Kraft der Erdrotation die Centrifugalkraft, dagegen wirkt bei den Tromben und Tornados in erster Linie die Centrifugalkraft der Gradientkraft entgegen.

Da die Ablenkungskraft auf der *nördlichen Hemisphäre* die Luft stets nach rechts abzulenken sucht, wird dieselbe nur dann dem Gradienten entgegenwirken, wenn sich die Luft *dem Sinne des Zeigers der Uhr entgegen* um das Minimum des Druckes bewegt (Fig. 33), während umgekehrt auf der *südlichen Hemisphäre* nur solche Cyklonen möglich sind, bei welchen die Bewegung *im Sinne des Uhrzeigers* erfolgt.

Diese Gesetze wurden zuerst in Amerika von Coffin und Ferrel aufgestellt, in Europa unabhängig etwas später von Buys-Ballot. Man nennt deshalb die Regel, daß auf der Nordhemisphäre, wenn man dem Wind den Rücken zukehrt, der niedrige Luftdruck zur linken Hand liegt, das *Buys-Ballotsche Gesetz*. Bei den Tromben und Tornados entfällt diese Bedingung, da die Centrifugalkraft von der Richtung der Bewegung unabhängig ist. Grundsätzlich wären Tromben, in welchen die Wirbelbewegung im Sinne des Uhrzeigers erfolgt, so gut möglich, wie jene im entgegengesetzten Sinne; die Beobachtungen haben aber ergeben, daß auch hier auf der Nordhemisphäre die Bewegungen gegen den Uhrzeiger und auf der Südhemisphäre mit dem Uhrzeiger bei weitem überwiegen. Diese Thatsache beweist, daß bei der

Entstehung auch dieser Wirbel die ablenkende Kraft der Erdrotation eine große Rolle spielt.

Die Eigentümlichkeit, daß bei den Tromben und Tornados die Centrifugalkraft die erste Rolle spielt, rührt daher, daß die Gradienten und die Windgeschwindigkeiten in diesen Gebilden weit höhere Werte erreichen als in unseren Cyklonen. So sank bei der sogenannten False-Point-Cyklone am 21. September 1885 das Barometer vom Abend bis um $6^1/_2$ Uhr morgens, in nicht ganz sieben Stunden, von einem Stand von 750 mm bis zu 689.2 mm: also um volle 61 mm; schon um 4 Uhr nachm. stand es wieder auf 750 mm. Da sich diese Cyklone mit einer Geschwindigkeit von 13 bis 14 engl. Meilen fortbewegte, so muß in derselben ein Gefälle von etwa 33 mm pro 100 km vorhanden gewesen sein.

Ein anderer heftiger Tornado, von welchem genauere Daten vorliegen, ist derjenige, welcher am 29. April 1892 die Insel Mauritius heimgesucht hat. Auch hier fiel das Barometer in nur 4 Stunden um 38 mm; die Windgeschwindigkeit stieg bei diesem Orkan auf 195 km pro Stunde; dieser Geschwindigkeit entsprachen auch die Verwüstungen, die der Orkan auf Mauritius anrichtete. Ein Dritteil der Stadt Port-Louis wurde zerstört; mehr als 1500 Personen wurden erschlagen, an 3000 verwundet, ja große Schiffe aus dem Meer gehoben und in die Stadt geschleudert. Als nach wenigen Stunden wieder ein sternenheller Himmel auf die Verwüstungen herniederblickte, standen gegen 25000 Leute obdachlos zwischen den Trümmern.

Gegenstücke zu den Cyklonen bilden die Gebiete hohen Druckes, die man deshalb auch „Anticyklonen“ benannt hat. In ihnen strömt die Luft vom Centrum weg, jedoch wieder wegen der ablenkenden Kraft der Erdrotation nicht

geradlinig, sondern in spiralförmigen Linien, auf der Nordhemisphäre im Sinne des Zeigers der Uhr. (Fig. 34.)

Mit diesen horizontalen Wirbelbewegungen sind übrigens die Bewegungen in Cyklonen und Anticyklonen noch keineswegs erschöpft; auch in vertikaler Richtung kommen solche vor. Der Niederschlag welcher im Innern der Cyklonen aufzutreten pflegt, lehrt uns, daß hier eine aufsteigende Bewegung erfolgt; der heitere wolkenlose Himmel der Anticyklonen liefert den Beweis, daß in ihnen die Luft in absteigender Bewegung begriffen ist.

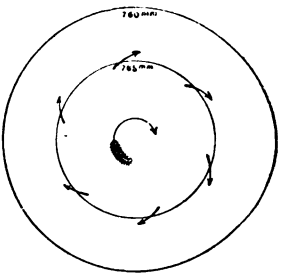


Fig. 34. Luftbewegung in der Anticyklone.

Wir werden später sehen, daß es gerade diese Cyklonen und Anticyklonen sind, durch deren Bildung und Fortbewegung der Wechsel unserer Witterung bedingt ist: um so größeres Interesse bietet somit die Frage nach ihrer Entstehung.

Bis in die neueste Zeit nahm man mit Ferrel an, daß für die Bildung der Cyklonen und Anticyklonen die Temperaturgegensätze in der Atmosphäre maßgebend seien. Da kalte Luft viel schwerer ist als warme, so erklärte man sich die Gebiete hohen Druckes ganz einfach durch die Annahme, daß die über dem betreffenden Gebiet liegende Luftsäule verhältnismäßig kalt sei und daher höheren Druck habe. Die Beobachtungen an der Erdoberfläche bestätigen ja auch diesen Schluß, denn die Anticyklonen zeichnen sich hier durch sehr tiefe Temperaturen aus. Umgekehrt erklärte man sich die Gebiete tiefen Druckes durch eine abnorm hohe Temperatur der betreffenden Luftsäule. Diese Annahme schien so einfach,

daß es kein Wunder ist, wenn sie allgemeinen Beifall fand. Erst als mit der Errichtung von Gipfelstationen auch aus höheren Luftschichten Beobachtungen zu erlangen waren, erwies sich diese Annahme als eine unrichtige. Insbesondere aus den auf dem Sonnblick angestellten Beobachtungen, besonders im Winter, zog Hann den Schluß, daß gerade umgekehrt der Luftkörper der Cyklonen kalt, jener der Anticyklonen aber verhältnismäßig warm ist, und daß nur in den allerunterſten Schichten im Innern einer winterlichen Anticyklone wegen des heiteren Himmels und der dadurch bedingten vermehrten Ausstrahlung die Temperatur eine abnorm niedrige wird.

Da herabsinkende Luft sich erwärmt, aufsteigende sich abkühlt, (vergl. das über den Föhn Gesagte) so ist es auch ganz erklärlich, daß die Anticyklonen mit ihrer absteigenden Luftbewegung verhältnismäßig warm, die Cyklonen mit aufsteigender Bewegung kalt sind.

Bewiesen ist dieses Verhalten der Cyklonen und Anticyklonen nun allerdings bloß für Höhen von kaum über 5000 m. In größeren Höhen kehren sich die Verhältnisse vielleicht wieder um.

Die Annahme kalter Cyklonen und warmer Anticyklonen bis in sehr große Höhen hinauf führt nämlich zu einer nicht unbeträchtlichen Schwierigkeit.

Wenn die Luft in den Cyklonen aufsteigt, so muß dieselbe in den höheren Schichten notwendig wieder abströmen. Daß dem wirklich so ist, hat Vettin durch Wolkenbeobachtungen bestätigt; er fand unten ein Einströmen, oben ein Ausströmen aus den Cyklonen. Nach der Ferrellschen Theorie nahm man an, daß die Cyklonen in den höheren Schichten in Anticyklonen übergehen, daß also oben ein Gefälle nach außen vorhanden sei. Nach Ferrels Theorie bestand also weiter keine Schwierig-

keit. Wenn aber wirklich der Luftkörper einer Cyklone kalt ist, dann muß (vergl. S. 62) in höheren Schichten der Druck ein verhältnismäßig noch tieferer sein, also die Cyklone, je höher wir uns über die Erdoberfläche erheben, sich um so mehr vertiefen. Wie ist aber dann ein Ausströmen aus ihr möglich?

Bezold hat nun gezeigt, daß dies doch möglich ist. Es sind ja drei Kräfte thätig: 1) die nach innen gerichtete Gradientkraft, 2) die nach außen gerichtete ablenkende Kraft, 3) die Centrifugalkraft. An der Erdoberfläche wird nun allerdings in allgemeinen die Gradientkraft größer sein als die beiden nach außen wirkenden Kräfte, so daß entsprechend der Gradientkraft ein Einströmen stattfindet. Da aber die Windgeschwindigkeit wegen der verminderten Reibung mit der Erhebung über der Erdoberfläche wächst, so wachsen mit ihr auch die nach außen wirkenden Kräfte, und es werden deshalb in gewisser Höhe die nach außen und die nach innen wirkenden Kräfte sich das Gleichgewicht halten. Die Cyklone ist dort, wie Bezold sagt, „centriert"; noch höher wird die nach außen wirkende Kraft sogar überwiegen: es tritt dort eine Bewegung gegen den Gradienten ein!

Fig. 35.

Was nun die Entstehungsursache der Cyklonen und der Anticyklonen betrifft, so scheint in neuerer Zeit wenigstens der Weg zu deren Erklärung angebahnt worden zu sein, und zwar von E. v. Oppolzer, dem Sohne des bekannten Wiener Astronomen.

Denken wir uns (Fig. 35) über A einen absteigenden, über B einen aufsteigenden Luftstrom, also eine regelmäßige Zirkulation von A nach B über B' und A' nach A zurück.

Wenn die Luft trocken iſt, ſo wird über A wie über B die Temperaturabnahme 1° pro 100 m betragen, und, wenn nur ein geringes Gefälle zur Ueberwindung der Reibung vorhanden iſt, kann dieſer Kreislauf ungehindert fortwähren. Wie aber, wenn wir uns die trockene Luft durch feuchte erſetzt denken, wie ſie thatſächlich in der Atmoſphäre vorhanden iſt? Beim Abſteigen ändert ſich offenbar nichts, die Temperaturabnahme wird wieder 1° pro 100 m betragen; beim Aufſteigen aber tritt nun Kondenſation ein und die Temperaturabnahme wird nur etwa $^1/_2$° pro 100 m betragen. In dieſem Anfangsſtadium wäre alſo die Luftſäule über B im ganzen genommen, wärmer als jene über A, es würde daher in der Höhe (ganz ähnlich wie zwiſchen Aequator und Pol) ein Druckgefälle zwiſchen B′ und A′ ſich einſtellen. Aus der Luftſäule über B würde Luft weg-, in die Luftſäule über A würde Luft zuſtrömen; über A wird alſo eine Anhäufung von Luft, ein Barometer-Maximum, eine Anticyklone entſtehen, über B ein Defizit an Luft, ein Minimum, eine Cyklone.

Feuchtigkeit.

§ 34. Abſolute und relative Feuchtigkeit.

In dem Kapitel über die Beſtandteile der Atmoſphäre haben wir von dem Betrag des Waſſerdampfes und deſſen Bedeutung Kenntnis erhalten. Dieſen Betrag, den Gehalt eines beſtimmten Quantums Luft an Waſſerdampf etwa in Grammen ausgedrückt, welcher von geringen Mengen bis zu etwa 25 gr pro Kubikmeter Luft wechſelt, nennt man die abſolute Feuchtigkeit der Luft. Da nun aber dieſer in der Luft ſchwebende Waſſerdampf zu jenem Druck der

Atmosphäre beiträgt, welchen wir mit dem Barometer messen, so kann man diese absolute Feuchtigkeit auch durch den Anteil bestimmen, welchen sie an dem Luftdruck hat, und in diesem Sinne spricht man statt von „absoluter Feuchtigkeit“ von dem „Dampfdruck“ und giebt denselben, wie den Luftdruck, in Millimeter Quecksilberhöhe an.

Mit dem Begriffe dieser absoluten Feuchtigkeit sind aber die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft noch keineswegs vollständig bestimmt. Speziell ihre Bedeutung für die Organismen auf der Erdoberfläche wird weit mehr durch jene Menge Wasserdampfes bestimmt, welche die Luft noch zu fassen vermag. Je nach der Temperatur ist nämlich der Betrag des Wasserdampfes, welchen die Luft bis zu ihrer vollen Sättigung aufnehmen kann, ein verschiedener, aber, wie die folgende Tabelle lehrt, ein festbestimmter:

Menge des Wasserdampfs bei Sättigung.

Temperatur:	−10°	0°	10°	20°	30°
Betrag in gr pro m³:	2·4	4·9	9·3	17·2	30·1
Dampfdruck in mm:	2·2	4·6	9·1	17·4	31·5

Da es also vornehmlich darauf ankommt, wie weit die Luft von der Sättigung entfernt ist, so sah man sich genötigt, einen neuen Begriff einzuführen: die relative Feuchtigkeit, d. i. das Verhältnis des thatsächlichen Wasserdampfgehalts zu dem bei der betreffenden Temperatur möglichen. Diese Verhältniszahl pflegt man in Prozenten anzugeben.

Gerade dieser letztere Begriff bestimmt in erster Linie die Trockenheit eines Klimas. Die Schnelligkeit der Verdunstung und des Trocknens feuchter Körper, die Transpiration durch die Haut und damit unser Durstgefühl — alles dies rührt von dem geringen Betrag der relativen Feuchtigkeit her.

Unsere Nordpolfahrer erzählen aber auch von dem großen Durste, der sie in den Polargegenden quäle; und doch ist hier die Luft relativ sehr feucht, ja fast mit Wasserdampf gesättigt. Man hat diesen Widerspruch so erklärt: Da wir durch die Lungen fortwährend Wasserdampf ausatmen und die ausgeatmete, stets auf die Körpertemperatur erwärmte Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, so verbrauchen wir um so mehr Feuchtigkeit, je geringer die eingeatmete Wasserdampfmenge, d. h. je geringer die absolute Feuchtigkeit ist. Eine näher liegende Erklärung ist wohl die, daß bei den fortwährenden Mühen einer derartigen Expedition die Transpiration eine vergrößerte ist.

Oder ein anderer scheinbarer Widerspruch: In den feuchten Polargegenden legt man die feuchtgewordenen Pelze auf den Schnee, und sie trocknen über Nacht; ja getrocknete Körper enthalten hier bei der geringen absoluten Feuchtigkeit weit weniger Wasser als solche, die in warmen Klimaten bei großer absoluter Feuchtigkeit getrocknet wurden. Trotz des häufigen Nebels fand der Nordpolfahrer Payer zu seinem Erstaunen eine aufbewahrte Cigarre zu Staub verwandelt; fast alle Feuchtigkeit war ihr entzogen worden. Wir haben es hier mit zwei ganz verschiedenen Dingen zu thun: die Schnelligkeit der Verdunstung wird durch die relative Feuchtigkeit bestimmt, die Fähigkeit der Luft aber, den Körpern den Wassergehalt zu entziehen, also die Intensität der Austrocknung, hängt auch von der absoluten Feuchtigkeit ab.

Mit diesen beiden Begriffen ist aber der Feuchtigkeitszustand der Luft auch vollständig und auf das Einfachste bestimmt. Sie beide sind notwendig, aber auch hinreichend zu seiner Charakterisierung. Für manche Zwecke ist es allerdings von Vorteil, etwa den „Thaupunkt“ einzuführen,

d. i. die Bezeichnung der Temperatur, in der bei der gegebenen Wasserdampfmenge Sättigung eintreten würde, oder das sogenannte „Sättigungsdefizit", d. i. jene Menge Wasserdampf, die ein bestimmtes Luftquantum bis zur Sättigung noch zu fassen vermag. Ein neuer physikalischer Begriff wird aber damit nicht eingeführt.

§ 35. Psychrometer und Hygrometer.

Wie messen wir nun den Feuchtigkeitsgehalt der Luft? Am gewöhnlichsten mit Hilfe des Augustschen „Psychrometers", d. h. eines Doppelthermometers, von dem das eine Thermometer die gewöhnliche Lufttemperatur angiebt, während das zweite (Fig. 36) durch eine Mousselinhülle, von welcher ein Docht in ein Gefäß mit Wasser taucht, fortwährend feucht erhalten wird. Ist die Luft verhältnismäßig trocken, so wird beständig Wasser verdampfen, und da zur Verdampfung Wärme verbraucht wird, wird dieses befeuchtete Thermometer notwendig tiefer zeigen, als das trockene. Stehen beide Thermometer gleich, so beweist dies offenbar, daß von der Wasserschichte nichts verdampft, also die Luft bereits gesättigt ist; je größer dagegen die Psychrometerdifferenz ist, um so trockener die Luft. In den sogenannten Psychrometertafeln[1] ist ein für allemal berechnet, welche Feuchtigkeit jeder einzelnen Psychrometerdifferenz entspricht.

Fig. 36. Psychrometer.

Da die Verdampfung aber auch von der Windgeschwindigkeit abhängt, so ist es von großem Vorteil, daß Aßmann auch

[1] Psychrometer-Tafeln für das hundertteilige Thermometer. Nach H. Wilds Tafeln bearbeitet von E. Jelinek. Vierte Auflage. Wien 1894. Engelmanns Verlag in Leipzig.

das befeuchtete Thermometer bei seinem Aspirationspsychrometer in den stets konstanten Luftstrom eingefügt hat; nicht bloß die Angaben der Lufttemperatur, sondern auch die der Feuchtigkeit sind also mit Aßmanns Instrument weit verläßlicher.

Man kann die Feuchtigkeit auch mit Hilfe der „Hygrometer" messen. Wir besprechen hier nur jene, die auf der Eigenschaft der sogenannten hygroskopischen Körper beruhen, Feuchtigkeit aus der Luft anzuziehen und sich dadurch zu verlängern. Die Haarhygrometer (Koppes Haarhygrometer, Lambrechts Polymeter), beruhen hierauf. Durch die Verkürzung oder Verlängerung eines einzelnen Haares oder eines Bündels derselben wird ein Zeiger, oder bei selbstregistrierenden Apparaten (Hygrograph von Richard) ein Schreibstift bewegt, welcher direkt die relative Feuchtigkeit angiebt.

Solange die Wasserschichte des Psychrometers nicht gefroren ist, sind seine Angaben wohl verläßlicher; bei tiefen Temperaturen aber ist ein gutes Haarhygrometer dem Psychrometer vorzuziehen, wenn letzteres nicht sehr sorgfältig behandelt wird.

§ 36. Verdampfung.

Woher rührt nun aber der fortwährende Wechsel im Feuchtigkeitsgehalte der Luft? Ursache desselben ist die größere oder geringere Verdampfung des Wassers, welches sich überall auf der Erdoberfläche vorfindet, und der Wechsel der Luftströmungen, die uns Luft bald aus feuchten, bald aus trockeneren Gegenden zuführen.

Die Verdampfung findet nun aber keineswegs allein über Wasserflächen statt, wenn sie auch über diesen am intensivsten ist: vor allem ist es der bewachsene Erdboden, welcher durch die pflanzlichen Organismen eine bedeutende Menge Wasser

an die Atmosphäre abgiebt, aber auch von unbewachsenem, feuchten Erdreich verdampft sehr viel. Besonders der Wind begünstigt die Verdampfung ungemein.

Zur Messung der Verdunstung bedient man sich der „Verdunstungswagen“ (Fig. 37, Verdunstungswage nach Wild), an deren Zeiger die Veränderungen des Gewichts eines flachen, mit Wasser gefüllten Gefäßes abzulesen sind. Das Instrument zeigt unmittelbar an, wie viele Millimeter die verdampfte Wasserschichte hoch war. Uebrigens geben diese Meßinstrumente je nach der Größe der verdunstenden Fläche verschiedene Resultate; denn wenn rings um eine verdunstende Fläche sich gleichfalls Wasser befindet, also von der Seite schon feuchte Luft zuströmt, so verdampft natürlich weniger Wasser.

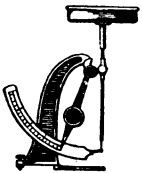


Fig. 37. Verdunstungswage.

Der Betrag der Verdampfung in einer gewissen Zeit ist je nach der Temperatur sehr verschieden; so verdunsten in Massaua bei einer mittleren Jahrestemperatur von etwa 30° C im Mittel pro Tag etwa 7 mm, im Jahr 2300 mm. Nach den in Montpellier angestellten Beobachtungen ist die Verdampfung in den Sommermonaten etwa dreimal so groß wie in den Wintermonaten, ebenso im Lauf des Tages etwa viermal größer als in der Nacht.

Besonders wichtig ist, worauf besonders Bezold aufmerksam gemacht hat, die Verdampfung für die Bewegung der Wärme in der Atmosphäre. Mit jedem verdampfenden Millimeter (d. i. pro m^2 1 Kilogramm Wasser) werden an der Erdoberfläche etwa 600 Groß-Calorien[1] (Wärmeeinheiten)

[1] Eine große Calorie ist die Wärme, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° C zu erhöhen.

verbraucht und mit dem Wasserdampf in höhere Luftschichten emporgeführt. Daß bei dem Wärmetransport durch Konvektion die Verdampfungswärme eine große Rolle spielt, haben wir im Kapitel über die Temperaturabnahme mit der Höhe gesehen. Durch die Verdampfung wird aber Wärme nicht bloß in die höheren Schichten, sondern auch vom Ozean zum Land und von heißeren Gegenden in kältere geführt.

§ 37. Periodische Aenderungen im Feuchtigkeitsgehalte der Luft und die Abnahme desselben mit der Höhe.

In engem Zusammenhang mit der Verdampfung stehen die periodischen Aenderungen der absoluten Feuchtigkeit. In der heißen Jahreszeit erreicht dieselbe ihr Maximum, im Winter ihr Minimum.

Nicht ganz so regelmäßig ist der tägliche Gang der absoluten Feuchtigkeit. Auf Berggipfeln geht derselbe, wie Hann gezeigt hat, zwar nahezu parallel mit der Temperatur, und ähnlich verhalten sich auch manche Stationen der Niederung. Meistens aber wird in den letzteren von 9^h vormittags an der Dampfdruck wieder sinken, da um diese Zeit unter dem Einfluß der Bodenerwärmung die aufsteigende Bewegung der Luft beginnt, wobei die Feuchtigkeit von den tieferen Schichten in die Höhe geführt wird. Das „normale" Maximum ist somit durch dieses von der Konvektion herrührende Minimum um etwa 4^h nachmittags in zwei Maxima gespalten, welche ungefähr auf 9^h früh und 9^h abends fallen. Der Eiffelturm zeigt nach Angot nur ein ausgesprochenes Maximum um 9^h früh und ein Minimum um 5^h abends.

Da die Schwankungen der absoluten Feuchtigkeit im Lauf des Jahres im allgemeinen nicht so groß sind, als die der Temperatur, so giebt bei der relativen Feuchtigkeit, welche von

Dampfdruck und Temperatur abhängt, der Gang dieser letzteren den Ausschlag, sodaß die relative Feuchtigkeit im Winter und am Morgen ihr Maximum, im Sommer und nachmittags ihr Minimum erreicht. Dies gilt jedoch nicht mehr für höhere Luftschichten. Da diesen gerade in der warmen Tages- und Jahreszeit der meiste Wasserdampf zugeführt wird, so ist hier der Gang ein umgekehrter. Zur besseren Uebersicht dieser Verhältnisse folgt hier für Wien und Sonnblick (3105 m) der jährliche Gang der relativen und absoluten Feuchtigkeit. Der tägliche Gang ist weit geringer.

	Jan.	März.	Mai.	Juli.	Sept.	Nov.	
Jährlicher Gang der relativen Feuchtigkeit.							
Wien:	84	73	67	71	76	84	%
Sonnblick:	84	90	91	93	89	82	%
Jährlicher Gang der absoluten Feuchtigkeit.							
Wien:	3·4	4·4	9·2	11·3	9·5	4·8	mm
Sonnblick:	1·5	1·5	3·3	4·4	3·8	1·9	mm

Dieses Beispiel belehrt uns auch über die vertikale Verteilung: die relative Feuchtigkeit nimmt zu, die absolute ab, da ja die Temperatur oben eine viel geringere ist, also die Luft weniger Feuchtigkeit zu fassen vermag. Nach dem von Hann gefundenen Gesetz für die Abnahme des Dampfdrucks[1] giebt folgende Tabelle den Dampfdruck für die verschiedenen Höhen unter der Voraussetzung an, daß der Dampfdruck am Meeresniveau 10 mm beträgt.

Dampfdruck.

Höhe:	0	500	1000	2000	3000	5000 m
Dampfdr.:	10·0	8·4	7·0	4·9	3·5	1·7 mm

[1] $\log e_h = \log e_0 - \frac{h}{6517}$, wo e_0 der Dampfdruck unten, e_h derselbe in der Höhe h ist.

Die horizontale Verteilung der Feuchtigkeit hängt in erſter Linie vom Vorhandenſein größerer Waſſerflächen ab; im übrigen iſt der Dampfdruck am größten in den Tropen, in den höheren Breiten am kleinſten.

Bewölkung.

§ 38. Kondenſation.

Durch die „Konvektion“ wird, wie früher gezeigt worden iſt, die warme, feuchte Luft vom Erdboden in höhere Schichten geführt. Da ſich die Luft beim Aufſteigen in höhere Schichten abkühlt, ſo wird ſich dieſelbe immer mehr dem Sättigungspunkte nähern und denſelben ſchließlich erreichen.

Was geſchieht dann? Es tritt nicht ſofort Kondenſation, d. i. Ausſcheidung des Waſſerdampfes ein; in der Regel erfolgt in der Atmoſphäre „Ueberſättigung“. Wo ſich der geſättigten Luft Wände darbieten, ſchlägt ſich der Dampf wohl ſofort nieder; in der freien Atmoſphäre aber, in welcher die Kondenſation nur in Form von Tröpfchen erfolgen kann, iſt dies deshalb nicht der Fall, weil ſtark gekrümmte Kugeloberflächen, wie es Tröpfchen ſind, viel leichter verdampfen, als ebene Flächen, und die Dampfſpannung, wenn ſich der Dampf auf Kugelflächen niederſchlagen ſoll, viel größer ſein muß, als auf ebenen Flächen.

Sehr wichtig iſt übrigens (vergl. S. 15) für die Kondenſation des Dampfes in der Luft, alſo für die Wolkenbildung, die Anweſenheit von Staubteilchen, welche die Kerne abgeben, um die ſich der Dampf kondenſiert. Aitken hat auch wirklich nachgewieſen, daß die Luft in Wolken ſtets mehr Staubteilchen enthielt, als die außerhalb der Wolken befindliche.

Uebrigens war noch nicht mit Sicherheit zu ermitteln, wie viel Wasser ein bestimmtes Quantum Wolke faßt; es scheint, daß 1 Kubikmeter Wolkenluft etwa 1—3 gr Wasser in Tröpfchenform enthält.

Ist die Temperatur tiefer als 0°, so erfolgt die Kondensation sofort in Form von *Eiskrystallen*. Dagegen ist es möglich, daß Tröpfchen, die sich bereits gebildet haben, wenn die Temperatur sinkt, auch unter 0° sich zwar abkühlen, aber nicht erstarren: es tritt „*Unterkaltung*“ ein. Aßmann bemerkte auf dem Brocken bei Anwendung des Mikroskops, daß bei einer Temperatur von —10° noch flüssige Wassertröpfchen in der Luft schwebten, die aber sofort bei Berührung eines festen Körpers zu Eisklümpchen ohne krystallinische Struktur erstarrten.

Nach Huttons Regentheorie nahm man als Ursache der Sättigung der Luft und damit der Kondensation und Regenbildung die Mischung von kalter und warmer Luft an. Hann hat jedoch den Nachweis geliefert, daß die Ursache der Sättigung vielmehr das Aufsteigen der Luft ist, und Pernter hat durch Berechnung gezeigt, daß die bei Mischung kalter und warmer Luft eintretende Kondensation weitaus nicht hinreicht, um die thatsächlich kondensierten Dampfmengen zu erklären.

Eine gleichfalls irrige Ansicht ist die, daß der Dampf sich in Wasserbläschen niederschlage. Es steht fest, daß die *Kondensation nur in Tröpfchen erfolgt*, und zwar in Tröpfchen von einem Durchmesser von 0.0059 mm bis zu 0·0169 mm (nach Aßmanns Messungen); Dines beobachtete sogar einen Durchmesser von 0.035 mm, ja bei dichtem Nebel sogar von 0·127 mm.

Wie erklärt sich nun das *Schweben* dieser Tröpfchen? Diese Erscheinung ist zweifellos nur eine scheinbare.

Wenn die Luft nicht bewegt ist, fallen alle Tröpfchen unter dem Einfluß der Schwerkraft abwärts; da aber diese Bewegung wegen des Luftwiderstandes eine geringe ist,[1] da ferner die fallenden Tröpfchen, welche in trockenere Schichten gelangen, sofort verdampfen, andererseits in der Höhe immer neue Tröpfchenbildung erfolgt, so macht ein solches Conglomerat von Tröpfchen, d. i. eine Wolke, den Eindruck, als sei sie ein wenig veränderlicher, schwebender Körper. In Wahrheit herrscht also in der Wolke fortwährende Bewegung, ein stetes Neubilden und Wiedervergehen.

§ 39. Wolkenformen.

So einfach nun aber auch die Entstehung einer Wolke scheint, so ungemein verschieden und mannigfach sind ihre Formen. Man hat versucht, diese letzteren nach ihrer Entstehung in gewisse Klassen einzuteilen. Eine solche organische Klassifikation scheiterte aber, weil wir über die Ursachen der verschiedenen Arten zu wenig wissen. Da indessen eine international vereinbarte Klassifikation immer dringenderes Bedürfnis wurde, so hat man auf die alte Howardsche, durch Goethe populär gemachte willkürliche Einteilung zurückgegriffen, welche die vier Grundformen annimmt:

1) Cirrus, d. i. die aus feinen weißen Fasern bestehende Federwolke;

2) Cumulus, d. i. die vorzugsweise im Sommer vorkommende massige, geballte, oft glänzend weiße Haufenwolke mit ihren zahlreichen, abgerundeten Kuppen;

3) Stratus, d. i. die niedrige, weitausgedehnte, zusammenhängende Schichtwolke;

[1] Selbst Tropfen von 0·5 mm Durchmesser haben eine Fallgeschwindigkeit von kaum 4 m pro Sekunde; mit abnehmender Tropfengröße nimmt diese sehr rasch ab.

Fig. 38a. Cumulus-Wolke.

Fig. 38c. Strato-Cumulus.

Fig. 38b. Cirrus-Wolke.

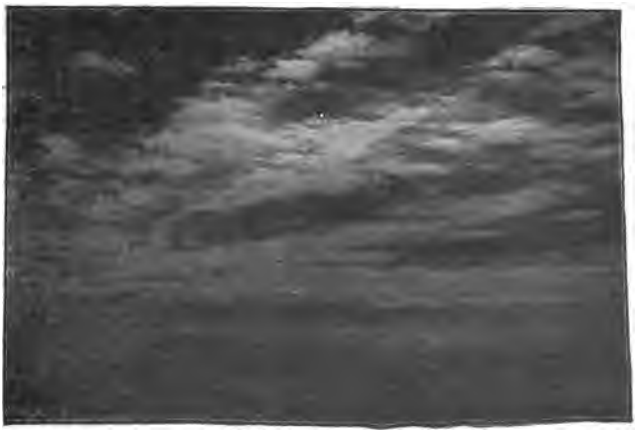


Fig. 38d. Alto-Stratus.

4) Nimbus, d. i. jene Wolke, aus welcher bereits Regen herabfällt.

Durch Kombination dieser Hauptformen können entstehen:

5) Cirro-Stratus, ein feiner, weißer Schleier, in welchen der Cirrus bei zunehmender Bewölkung übergeht; er verleiht dem Himmel ein gewisses weißliches Aussehen;

6) Cirro-Cumulus die bekannten Schäfchen, kleine weiße, vielfach in Reihen angeordnete Ballen-Wölkchen;

7) Alto-Cumulus (oder Cumulo-Cirrus), eigentlich dieselbe Form, aber gröber, weißlich grau mit beschatteten Teilen;

8) Alto-Stratus (oder Strato-Cirrus), dichte, graue Wolkenschleier, sozusagen die gröbere Form des Cirro-Stratus;

9) Strato-Cumulus, Wolken, die eine Schichte bilden, aber nicht genug zusammenhängen, um als Cumulus bezeichnet zu werden;

10) Cumulo-Nimbus, die dunkle, massige Gewitterwolke mit cumulusartigen Umrissen, aus welcher der Regen in dichten Strömen niederfällt.

Dies sind die zehn Wolkenformen, welche von dem internationalen Meteorologen-Kongresse zu Paris 1889 angenommen worden sind. Damit aber auch überall unter demselben Worte dieselbe Form verstanden werde, wurde die Herausgabe eines Atlasses von charakteristischen Wolkenbildern beschlossen. Die in Figur 38 wiedergegebenen Wolkenformen sind dem von Singer im Verein mit anderen Fachleuten herausgegebenen Atlasse entnommen.[1]

Streng genommen, wäre noch eine Form anzuführen: der Nebel, d. h. eine Wolke, in der wir uns

[1] Die Photographieen sind uns von der Direktion der k. bayr. meteorol. Centralanstalt in der liebenswürdigsten Weise zur Reproduktion überlassen worden

befinden; meistens eine Wolke, welche auf der Erdoberfläche aufliegt.

Ueber die Entstehung der verschiedenen Wolkenformen wissen wir wenig Sicheres. Gewiß ist nur, daß sich die Cumulus-Wolken am oberen Ende eines aufsteigenden Luftstromes bilden. Was das eigenartige Aufblähen und Vorstoßen der Cumulusköpfe betrifft, so hat Bezold dieselben als durch plötzlich auftretende Erwärmungen entstanden erklärt, deren Ursache er in der Uebersättigung des Dampfes findet. Da in dem Augenblick, wo Kondensation eintritt, ein beträchtliches Wärmequantum frei wird, so muß mit der plötzlichen Kondensation auch eine plötzliche Ausdehnung verbunden sein. In Cumulus-Wolken erkennen wir in der That eine fortwährende Bewegung.

Wenn nun an der Oberseite solcher Cumuli die Tröpfchen unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung abermals verdampfen und von neuem in höhere Luftschichten emporgeführt werden, so kann abermals in höheren Schichten Kondensation eintreten, und es entstehen die Cirrus-Wolken. Da diese Eiskrystalle enthalten, so erklärt sich ihr dünnes, haarförmiges, lockiges Gefüge.

Ebenso ist zweifellos, daß der Stratuts durch Abkühlung infolge von Ausstrahlung entsteht. Stratus ist ein in gewissen Höhen schwebender Nebel.

§ 40. Wolkenbeobachtungen.

Eine systematische Beobachtung der Wolken ist erst in der allerneuesten Zeit angebahnt worden. Man begnügte sich mit der Schätzung der Bewölkung, d. h. man gab an, wie viele Teile des Himmelsgewölbes zu der betreffenden Zeit

mit Wolken bedeckt waren. Es geschieht dies meist nach einer zehnteiligen Skala oder in Prozenten.

Man ist sogar in den Stand gesetzt, mit Hilfe eines selbstregistrierenden Apparats für jede Stunde des Tages die Bewölkung anzugeben. Pernter und später Billwiller haben nämlich den Nachweis erbracht, daß sich Bewölkung und Sonnenscheindauer so ziemlich ergänzen. Scheint z. B. die Sonne während des 0·65 Teils einer gewissen Zeit, so ist die Bewölkung fast genau 1—0·65=0·35, also 35%.

Behufs der Registrierung der Sonnenscheindauer bedient man sich des Campbell-Stokesschen Sonnenscheinautographen (Fig. 39), einer Glaskugel, die als Brennglas wirkt und ein Loch in einen Papierstreifen einbrennt. Rückt die Sonne am Himmel weiter, so bewegt sich der Brennpunkt in umgekehrter Richtung über das Papier, und in dasselbe wird ein Strich eingebrannt, solange die Sonne scheint, während es unversehrt bleibt, wenn Wolken vor die Sonne treten.

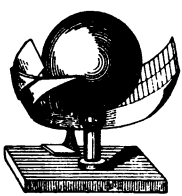


Fig. 39. Sonnenscheinautograph.

Was nun den täglichen Gang der Bewölkung anlangt, so zeigt sich auf Berggipfeln um Sonnenaufgang ein Minimum der Bewölkung, und nun nimmt die Bewölkung bis gegen Abend stetig zu. Ursache hiervon sind die Nebelhauben auf den Berggipfeln, welche sich in dem längs derselben den Tag über aufsteigenden Luftstrom bilden. Hört der Thalwind auf und beginnt der Bergwind, so sinkt die Luft längs der Berggipfel herab und bewirkt eine allmähliche Auflösung dieser Wolkenmassen.

Viel unregelmäßiger ist der tägliche Gang der Bewölkung in der Ebene. Morgens findet überall eine größere Bewölkung

statt (Einfluß der Nebelbildung), ebenso um etwa 2^h nachmittags, um welche Zeit die aufsteigende Luftbewegung am intensivsten wird. Am Abend ist die Bewölkung meistens am geringsten.

Im Laufe des Jahres zeigt der Winter die größte, der Sommer die kleinste Bewölkung.

Wenig ist der Zug der Wolken, dessen Richtung und Geschwindigkeit beobachtet worden; mit Hilfe eines Spiegels jedoch, der in Felder eingeteilt ist, des „Wolkenspiegels", ist dies leicht möglich. Weit schwieriger ist die Bestimmung der Höhe der Wolken, sie erfordert genaue Meßinstrumente und zwei Beobachter. Erst aus neuer Zeit liegen solche Messungen vor, und es ergaben sich:

Cirrus und Cirro-Stratus:	8000—10000 m
Cirro-Cumulus:	6000—8000 m
Alto-Stratus und Alto-Cumulus:	4000—6000 m
Strato-Cumulus, Cumulus, Cumulo-Nimbus, Nimbus:	1000—4000 m
Stratus:	500—1000 m.

Im Sommer und in wärmeren Gegenden ist ihre Höhe größer, im Winter und in kälteren Gegenden geringer. Sehr rasch wächst die Geschwindigkeit der Wolken mit ihrer zunehmenden Höhe. Nach Fergusson und Clayton beträgt dieselbe in den verschiedenen Höhen:

Höhe:	200 bis 1000	1000 bis 3000	3000 bis 5000	5000 bis 7000	7000 bis 9000	9000 bis 11000	
im Sommer:	7·5	8·2	10·6	19·1	23·5	31·1	Meter pro Sek.
im Winter:	8·8	14·7	21·6	49·3	54·0	—	

§ 41. Verteilung der Bewölkung.

Die Verteilung der Bewölkung steht in innigem Zusammenhang mit der allgemeinen Zirkulation. Teisserenc

de Bort, welcher durch Verbindung aller Punkte mit gleicher Bewölkung „Isonephen", Bewölkungskarten für die Erde entworfen hat, konnte damit nachweisen, daß überall, wo die Luft eine aufsteigende Bewegung hat, die Bewölkung größer ist, geringer, wo die Luft im Absteigen begriffen ist. Absteigende Luft wird wärmer und damit trockener, Wolken in ihr müssen somit verdampfen und sich allmählich auflösen.

Wir haben somit einen Gürtel großer Bewölkung um den Aequator, woran sich zwei Zonen geringer Bewölkung in den sogenannten Roßbreiten (etwa 35° Br.) anschließen. In den höheren Breiten wächst die Bewölkung wieder.

Da die oberen Teile der Wolken, die von der Sonne beschienen werden, einen großen Teil des Lichtes reflektieren, so würde die Erde von außen gesehen, gestreift erscheinen, wie manche Planeten. Wo viele Bewölkung ist, dort hätten wir lichte Streifen.

Teisserenc de Bort glaubt, aus den Flecken eines Planeten, die ja zweifellos von Kondensationsprodukten herrühren, auf die Zirkulation in der Atmosphäre desselben schließen zu dürfen. Wo wir darauf helle Flecken sehen, schließt er, dort befinden sich kondensierte Dämpfe, dort ist die Atmosphäre sicher in aufsteigender Bewegung begriffen.

Niederschlag.

§ 42. Regenmesser.

Sobald die Kondensation so stark vor sich geht, daß die Tröpfchen, welche durch Ineinanderfließen oft bis zu großen Tropfen anschwellen können, oder die Eiskrystalle, welche sich gleichfalls häufig zu größeren Flocken aufeinanderlegen,

bei ihrem Falle nicht vollständig verdampfen, sondern den Erdboden erreichen, so tritt Niederschlag ein.

Zur Messung desselben bedient man sich des „Regenmessers“ oder „Ombrometers“, eines Auffanggefäßes von bestimmter Oberfläche. In den Einzelheiten weichen die verschiedenen Systeme von Regenmessern vielfach von einander ab. Der in Fig. 40 abgebildete Regenmesser besteht aus 2 Teilen. Der obere Teil, das Auffanggefäß A, besteht aus einem nach unten in eine Röhre auslaufenden Cylinder, der einen Querschnitt von z. B. $^1/_{30}$ m² besitzt. Der auf diese Fläche entfallende Regen fließt durch die Röhre r in den zweiten Teil, das Sammelgefäß S, in welches man übrigens zur Erleichterung des Herausgießens meist noch eine Kanne K hineinstellt. Der Aufsatz A hat vorzugsweise den Zweck, das im Sammelgefäß A oder in der Kanne K gesammelte Wasser von der äußeren Luft abzuschließen und so vor Verdunstung zu bewahren.

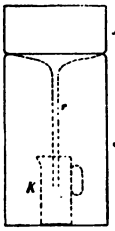


Fig. 40. Regenmesser.

Im Winter nimmt man den Aufsatz A und die Kanne K weg und verwendet allein den unteren Teil, den etwa $^3/_4$ m hohen Sammelcylinder, als Schneemesser.

Man mißt nun den Niederschlag in Millimetern, d. h. man giebt an, wie viel mm hoch das Wasser über einer Fläche stünde, wenn nichts versickern und nichts verdunsten würde. Das Meßglas, in welches man den aufgefangenen Niederschlag aus der Kanne zum Zweck der Messung zu gießen hat, ist so eingerichtet, daß es die Millimeterzahl an einer im Glase eingeritzten Skala direkt abzulesen gestattet. Da auf 1 m², wenn das Wasser 1 mm hoch steht, offenbar eine Million Kubikmillimeter, d. i. 1 Kilogramm oder 1 Liter

Wasser entfallen, so wird 1 mm Niederschlag auf eine Fläche von $^1/_{20}$ m² offenbar 0·05 Liter ergeben; d. h. wenn z. B. im Meßglas $^1/_2$ Liter enthalten ist, so muß das Wasser bis zum Teilstrich 10 reichen, also 10 mm angeben.

Fig. 41. Schneeflocken.

Bei anderer Auffangfläche ist selbstverständlich auch ein anderes Meßglaß nötig. Für $^1/_{10}$ m² Auffangfläche ergiebt

1 mm Regen 0.1 Liter, d. h. $^1/_{10}$ Liter Wasser fällt auf diese Fläche schon bei 5 mm Niederschlagshöhe; wenn das Meßglas $^1/_2$ Liter enthält, muß somit das Wasser bis zum Teilstrich 5 reichen.

Fällt der Niederschlag in Form von Eis, so muß dasselbe vor der Messung geschmolzen werden.

§ 43. Arten des Niederschlags.

Man unterscheidet mehrere Arten von Niederschlag: Regen (●), wenn er in Tropfen, Schnee (✱), wenn er in Eiskryställen, Hagel (▲) und Graupeln (△), wenn er in nichtkrystallinischen Eisklümpchen fällt.

Als die ursprünglichen Formen sind der Regen und Schnee anzusehen. Der letztere zeigt eine große Mannigfaltigkeit der Formen. Einzelne Flocken weisen nach mikrophotographischen Aufnahmen von Sigson oft eine ganz wunderbare, geradezu künstlerische Gestaltung auf.[1] (Fig. 41.)

Vielfach werden Regentropfen bei ihrem Falle zur Erdoberfläche kältere Luftschichten zu durchfallen haben und dabei erstarren, oder es werden sich einzelne Schneeflocken und Nebeltröpfchen zu Eisklümpchen zusammenballen. Dies ist wohl die Entstehung der Graupeln. Von diesen letzteren unterscheidet sich der Hagel (Fig. 42) dadurch, daß bei ihm klare feste Eisschichten meist in konzentrischen Hüllen um einen schneeigen

Fig. 42. Hagelkörner

[1] In Fig. 41 geben wir eine Reproduktion einiger von Hellmann publizierten Proben der Sigsonschen Aufnahmen, die wir der Güte des Herrn Geheimrath Hellmann verdanken.

Kern vorkommen, und daß die Hagelkörner viel beträchtlichere Dimensionen erreichen. Man hat schon Hagelkörner von mehr als 1 Kilogramm Gewicht gefunden.

In Bezug auf die Entstehung des Hagels sind die Ansichten noch nicht geklärt. Sicher ist, daß hier wie bei jedem heftigen Regen, eine sehr plötzliche und intensive Kondensation, also ein rasches Aufsteigen von feuchter Luft eintritt, daß das Hagelwetter ein Gewitter ist, bei welchem der Niederschlag zum Teil in Form von Eis fällt. Sicher ist auch, daß sich die Hagelkörner aus einzelnen Eiszellen zusammensetzen, also durch Zusammenfließen von Tröpfchen entstehen, die im Moment des Zusammenfließens wenigstens teilweise erstarren. Nur bei unterkühlten Tröpfchen ist dies möglich. Wird unterkühltes Wasser lebhaft geschüttelt oder — mit Eis berührt, dann nimmt ein Teil der ganzen Masse, je nach dem Grade der Unterkühlung, plötzlich feste Form an, während der übrige Teil Wasser von 0° bleibt.

Aber warum erfolgt nun dieses Zusammenfließen zahlloser Tröpfchen zum großen Hagelkorn? und woher die Kälte, durch welche auch das Wasser schließlich zum Erstarren gebracht wird?

Was diese letztere Frage anbelangt, so liegt die Ursache der auftretenden Kälte entweder in einer bisher überhaupt noch unbekannten Naturerscheinung, oder aber es ist das Aufsteigen der Luft in einem Hagelwetter ein so heftiges und lebhaftes, daß die Regentropfen, ja selbst die größeren Hagelkörner mit in sehr hohe, kalte Regionen gerissen werden.

Die Frage nach dem Grund des Zusammenfließens der Tropfen oder dem gewaltigen Anwachsen der Hagelkörner dürfte dagegen mit der bekannten Erscheinung zusammenhängen, daß an einem kleinen Springbrunnen der Wasserstrahl sich

zusammenzieht, sobald man ihm eine geriebene Siegellackstange nähert. Jeder elektrische Feldwechsel — und jeder Blitz bedeutet ja einen solchen — wird ein Zusammenfließen der Tropfen bewirken. Wenn aber in der That die Hagelkörner durch die Luft emporgerissen, also lange in der Atmosphäre zurückbehalten werden, dann hat auch das Anwachsen zu so bedeutender Größe nichts Verwunderliches mehr an sich.

Welch enorme Eismassen ein Hagelwetter zu liefern vermag, das zeigte das Hagelwetter vom 7. Juni 1894, welches sich in den ersten Frühstunden dieses Tages über Wien entlud. Im Zentrum der Stadt fielen 43·5 mm Niederschlag, meist in Form von Hagelkörnern, d. h. beinahe 1 Zentner pro Quadratmeter! Wien glich nach diesem Wetter einer bombardierten Stadt; über eine Million Fenstertafeln waren in wenigen Minuten zerschlagen worden, die Bäume ihres Laubschmuckes beraubt, und noch in den späten Abendstunden lagen Eishaufen in den Straßen der Stadt, über welche man nicht hinwegsehen konnte.

§ 44. Verteilung und periodische Aenderung des Niederschlags.

Während wir bei allen bisher behandelten meteorologischen Elementen auf wesentliche Unterschiede nur dann gestoßen sind, wenn wir größere Teile der Erdoberfläche in Betracht zogen, zeigt der Niederschlag schon auf kleineren Gebieten große Unterschiede.

Der Berliner Zweigverein der deutschen Meteorologischen Gesellschaft hat ein eigenes Versuchsfeld eingerichtet, um über die Genauigkeit der Regenmessungen Aufschluß zu erhalten; und hier bestätigte es sich, daß selbst bei Regenmessern, die nicht sehr weit von einander entfernt sind, die Ergebnisse der

Messungen sehr weit auseinandergehen. Wenn wir z. B. die jährliche Niederschlagsmenge von Charlottenburg = 100 setzen, so ergab Plötzensee 99·0, Martiniquefeld 91·8, Botanischer Garten 89·7 und Steglitz 88·4. Die Differenzen sind sehr groß, je nach dem größeren oder geringeren Windschutz, in welchem der Regenmesser aufgestellt ist. Auch zeitlich ist der Niederschlag sehr ungleich: an manchen Orten fallen an einem Tage oft Regenmengen, welche andere Stationen nicht in einem Jahre aufweisen. So fielen z. B. in Cherapunjie in Bengalen am 14. Juni 1876 binnen 24 Stunden 1036 mm, ja vom 12.—15. Juni d. i. in 4 Tagen 2591 mm, beinahe 26 Hektoliter pro Quadratmeter! Große Regenmassen fielen auch vor der 1893 in Queensland eingetretenen Ueberschwemmung. Da fielen vom 31. Januar bis zum 3. Februar auf einer Station 1903 mm, in 12 Tagen 2670 mm.

Auch unsere Gegenden haben hie und da ähnliche Wolkenbrüche aufzuweisen. So hatte Fiume am 30. Sept 1892 in $8^1/_2$ Stunden 208 mm, d. i. pro Stunde 24.5 mm; in 48 Stunden fielen dort 515 mm.

Auch in Schlesien fielen während des Wolkenbruches vom 2./3. Aug. 1888 in 15 bis 18 Stunden Regenmengen bis zu 260 mm. Auf das Quellgebiet des Queis allein kamen rund 10000 Millionen Liter Wasser. Im Mittel beträgt der Niederschlag für Deutschland etwa 660 mm pro Jahr.

Auch in der Jahressumme giebt es ganz beträchtliche Abweichungen: einem Niederschlag in Bishop Creek (in Kalifornien) von 33 mm pro Jahr steht im Küstengebiet von Brasilien ein solcher von 3612 mm gegenüber; Ostbengalen und Assam weisen 3689 mm, Konkan und Ghats 3342 mm und Arakau gar 4386 mm auf. Selbst in Europa

kommen solche Jahressummen vor: Crkvice in Dalmatien z. B. hat einen jährlichen Niederschlag von 4240 mm. Die größte beobachtete Jahressumme fällt auf das schon erwähnte Cherapunjie: 14800 mm nach einem zehnjährigen Mittel!

Maßgebend für die Verteilung ist vor allem die Meeresnähe, welche naturgemäß den Niederschlag verstärkt, ferner alle Ursachen einer aufsteigenden Bewegung, durch welche Kondensation herbeigeführt wird. Wir sehen deshalb einen sehr regenreichen Gürtel in der Calmenzone sich um die Erde schlingen weil dort die Luft in aufsteigender Bewegung begriffen ist. Auch dort findet sich reichlicher Niederschlag, wo sich oft Depressionen mit ihrer gleichfalls aufsteigenden Luftbewegung einstellen, endlich an der Luvseite der Gebirge, wo die Luft gleichfalls zum Emporsteigen gezwungen wird. Im allgemeinen wächst an der Luvseite der Gebirge der Niederschlag bis zu einer gewissen mittleren Höhe und nimmt dann wieder bis zum Kamme ab. Auf der Leeseite, wo die Luft herabsinkt, zeigt sich Föhnbildung und damit ein wesentlich geringerer Niederschlag. Loomis führt als ein lehrreiches Beispiel hierfür die pacifische Küste von Nordamerika an. Wir lassen hier die Jahressummen der dortigen Niederschlagsmengen folgen:

	Luvseite					Leeseite		
Station:	Sakramento	Auburn	Colfax	Cisko	Gipfel	Truckee	Carson-City	Winnemucca
Seehöhe in m	11	415	738	800	2139	1774	1411	1328
Niederschl. in mm	520	840	1150	1460	1220	750	300	220.

Hill hat aus den Beobachtungen der Stationen am Himalaya den Nachweis erbracht, daß die Höhe, bis zu welcher an der Luvseite der Niederschlag zunimmt, zusammenfällt mit jener Höhe, wo in der aufsteigenden Luft die Kondensation beginnt. Auf tieferliegende Stationen entfällt

weniger, weil während des Falls ein Teil der Tropfen verdampft, auf höherliegende gleichfalls weniger, weil ein Teil der regnenden Wolke schon darunter liegt.

Dabei kommt übrigens auch die Neigung des Bergrückens in Betracht, welchen die Luft zu überschreiten hat; Riggenbach hat sogar eine bestimmte Beziehung zwischen Regenmenge und Böschungswinkel gefunden. Bei 45° Böschung steigt die Niederschlagsmenge auf das doppelte vom ebenen Terrain.

§ 45. Tau und Reif.

Wir haben bisher nur jenen Niederschlag betrachtet, der sich in der Luft selbst kondensiert und aus dieser zur Erde herabfällt. Es tritt aber auch an der Erdoberfläche und an darauf befindlichen Gegenständen, insbesondere an den Pflanzen, Kondensation ein: je nach der Temperatur in flüssiger Form als Tau oder in kristallinischer, schneeartiger Struktur als Reif.

Tau und Reif treten immer und überall ein, wenn z. B. in klaren Nächten, die auf der Erdoberfläche befindlichen Körper durch Ausstrahlung sich so stark abkühlen, daß ihre Temperatur bis zum „Taupunkte“ (vgl. § 34) der sie umgebenden Luft sinkt.

Dies ist die Theorie der Taubildung von Wells. Dieser letztere nimmt auch an, der im Tau niedergeschlagene Wasserdampf stamme allein aus der Luft. Dem gegenüber hat Aitken auf die Erscheinung hingewiesen, daß Steine bei Taubildung nicht oben, sondern an ihrer Unterseite naß seien, daß also der Wasserdampf aus dem Boden stamme. Durch Versuche von Wollny und Ruffel ist nun erwiesen worden, daß wirklich der Tau in erster Linie von der Bodenfeuchtigkeit herrührt. Insbesondere sind es die Pflanzen, welche während der Nacht Wasser aus dem Boden aufnehmen und

durch Transpiration an die benachbarten Luftschichten abgeben. Dieser Dampf scheidet sich bei Abkühlung der Pflanzen durch Ausstrahlung an ihnen als Tau oder Reif wieder aus. Russell hat gezeigt, daß über dem Erdboden, namentlich über bewachsenem Boden, im Innern von umgestülpten Gefäßen sich reichlich Tau ausscheide. Hier kann die Feuchtigkeit nicht aus der Luft stammen, und es bleibt auch die Taubildung aus, sobald man die Gefäße über Metallplatten stülpt.

Houdaille hat die Taubildung fortgesetzt gemessen. Im Juli ist dieselbe am geringsten = 0·19 mm, im November am größten, beträgt jedoch nur 1·24 mm. Im ganzen Jahr wird sie sich auf 6 bis 7 mm belaufen; das ist nur 1% der Regenmenge.

Viel ausgiebiger ist vielfach der Reif, welcher sich als „Rauhreif" oft in dicken Klumpen an die Bäume ansetzt. Bührer bemerkte in einem Falle einen Ansatz von Eiskrystallen, welcher einem Niederschlag von 4·8 mm entsprach; der Verfasser fand an einem niedrigen Tannenbaum und an einem etwa 2 m hohen Strauch je 3·5 mm. Da der Rauhreif sehr reich an Stickstoff ist (in Ammoniak), offenbar wegen der großen Absorptionsfläche, die er der umspülenden Luft darbietet, so ist er im Pflanzenleben gewiß von nicht geringer Bedeutung.

Luft-Elektricität.

§ 46. Begriff der Luft-Elektricität.

Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde fast gleichzeitig in Europa und in Amerika, im ersteren von De Romas und Abbé Mazeas, im letzteren durch Benjamin

Franklin der Versuch gemacht, aus einer Gewitterwolke mit Hilfe eines Drachen, der mit einer Spitze und einer die Elektricität leitenden Schnur versehen war, Elektricität herabzuholen und so direkt den Nachweis zu erbringen, daß die im Blitze sich äußernde Kraft in der That Elektricität sei. Diese Versuche gelangen vollkommen und führten zu der Idee, durch Blitzableiter sich vor den Gefahren des Gewitters zu schützen.

Weiter wurde in Europa, und zwar durch Le Monnier, die wichtige Entdeckung gemacht, daß auch bei wolkenlosem Himmel Elektricität aus der Luft gezogen werden könne; und er stellte schon regelmäßige Beobachtungen dieser Erscheinung an.

Ist nun wirklich in der Atmosphäre beständig Elektricität aufgehäuft, derart, daß man dieselbe durch Spitzen auffangen und zur Erde leiten kann? Diese Annahme ist durchaus nicht nötig. Bekanntlich wird jeder Metallkörper in einem Raume, in welchem sich elektrische Massen befinden (d. h. in einem „elektrischen Feld") durch „Influenz" elektrisch, d. h. es scheidet sich in ihm die positive und die negative Elektricität von einander ab und sammelt sich an den entgegengesetzten Seiten des Körpers. Hat gar ein solcher Körper an der einen Seite eine Spitze, dann kann aus ihr die Elektricität der einen Art ausströmen, und der Körper hat dann nur noch die Elektricität der anderen Art.

Ermann und Peltier haben nun bewiesen, daß wir es in der That mit diesem Vorgange zu thun haben, wenn wir durch einen Drachen oder eine mit einer Spitze versehene lange Metallstange scheinbar Elektricität aus der Luft herausziehen. Denn in Wahrheit braucht zu diesem Zweck in der Luft selbst gar keine Elektricität vorhanden zu sein; aber ein

elektrisches Feld ist sicher vorhanden. Dann aber sind die Fragen zu beantworten: welche Aenderungen beobachten wir in diesem Felde? Wo befinden sich die elektrischen Massen, die dieses Feld erzeugen? Sitzen sie auf der Erdoberfläche, auf der Sonne oder einem anderen Himmelskörper? Oder sind sie in der Atmosphäre selbst vorhanden?

Diese Fragen lassen sich nur durch systematische Beobachtungen beantworten. Dazu bedarf es vor allem eines handlichen Instrumentes; dann aber müssen wir zuerst die ungestörte Erscheinung bei schönem Wetter studieren. Wir dürfen auch nicht an Häusern oder auf Berggipfeln beobachten oder müssen, wenn wir dies thun, die dort gewonnenen Ergebnisse auf die Ebene reduzieren.

Diese grundlegenden Forderungen hat zuerst Franz Exner aufgestellt und erfüllt. Mit seinem Elektroskop wurden fast alle verwendbaren Messungen angestellt. Dieses Instrument besteht aus zwei in einer Hülse H (Fig. 43) isoliert angebrachten Aluminium-Blättchen a und a', welche um einen bestimmten Winkel ausschlagen, sobald sie elektrisch geladen sind. Will man nun das elektrische Feld rings um die Erde erforschen, so braucht man nur eine Spitze oder besser eine Flamme F in bekannter Entfernung von der Erdoberfläche isoliert aufzustellen und durch einen gutleitenden Draht, immer isoliert, mit den beiden Aluminiumplättchen zu verbinden, wobei die Metall-Hülse H zur Erde abgeleitet sein muß.

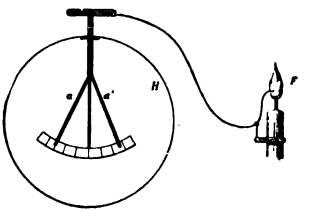


Fig. 43. Exner's Elektrograph.

Je nach dem Ausschlag der beiden Plättchen erhält man so das „Potentialgefälle" pro Meter. Dieses ist die

Kraft, mit welcher eine positiv-elektrische Masse bewegt würde, wenn sie an den betreffenden Ort gebracht würde. Finden wir nun auf der Erdoberfläche nach oben ein positives Potentialgefälle, so ist die Kraft eine anziehende, d. h. zum Erdmittelpunkt gerichtete; bei negativem eine abstoßende.

Wir messen das Potentialgefälle in Volt, einer Einheit, welche 0.89 Teile jener Kraft bedeutet, die in einem Daniell'schen Element (Kupfer-Zink) wirksam ist.

§ 47. Beobachtungsthatsachen.

Nach Erörterung dieser Vorbegriffe können wir nun zu den Ergebnissen der hauptsächlich von Exner angestellten Messungen schreiten. Es ergab sich aus ihnen, daß bei schönem Wetter überall das Potentialgefälle ein positives ist, d. h. daß die Kraft, welche auf eine positiv-elektrische Masse ausgeübt wird, eine zur Erdoberfläche gerichtete ist. Es scheint, daß man das mittlere Potentialgefälle auf etwa 130 Volt-Meter veranschlagen darf, daß also eine sehr beträchtliche negative Elektricitätsmenge auf der Erdoberfläche sitzt.

An verschiedenen Orten ist übrigens das Potentialgefälle verschieden. Während Elster und Geitel in Wolfenbüttel im Jahresmittel 220 Volt-Meter erhielten, fand Exner in Ceylon nur etwa 58 Volt.

Die Beobachtungen ergeben weiter einen allerdings sehr geringen täglichen Gang und einen ziemlich ausgesprochenen ähnlichen Gang des Potentialgefälles. In Wolfenbüttel z. B. schwankt dasselbe von einem Minimum 102 im Juni bis zu einem Maximum 470 im Dezember.

Woher kommen diese Verschiedenheiten nach der Oertlichkeit, und woher die Aenderungen im Laufe der Zeit? Da die Erde als guter Leiter zu betrachten ist,

würden wir, da sich auf einer geladenen Kugel überall dieselbe elektrische Dichte herstellt, auch überall dieselbe Kraft erwarten. Da dies nicht der Fall ist, so müssen auch außerhalb der Erde noch elektrische Massen wirksam sein, die influenzierend auf die Erde wirken und deshalb auf derselben eine ungleiche und wechselnde Dichte hervorrufen. Wo sitzen dieselben? Das ist die Frage, die nun vor allem auftaucht. Es liegt nahe, zur Erklärung des täglichen und des jährlichen Ganges eine elektrische Ladung der Sonne anzunehmen; doch würden sich dann Widersprüche mit den Beobachtungen herausstellen. Wir werden also die außerhalb der Erdoberfläche befindlichen elektrischen Massen nur in unserer Atmosphäre suchen dürfen.

Man hat angenommen, daß von dem Wasserdampf ein Teil der Ladung der Erde in die Atmosphäre mitgeführt werde, denn Exner fand, daß das Potentialgefälle ganz regelmäßig mit dem zunehmenden Dampfdrucke kleiner werde.

Dampfdruck:	1·7	3·4	6·3	12·4	17·5	23·5
Pot.-Gefälle:	432	323	191	82	66	51

Ein Gutteil des jährlichen Ganges und die Abnahme des Potentialgefälles gegen den Aequator käme hiernach auf Rechnung der Verschiedenheit des Dampfgehaltes der Luft, und bei der Annahme, daß ein Teil der negativen Elektricität von der Erde bei der Verdampfung des Wassers mitgeführt werde, würde diese Erscheinung auch ihre ungezwungene Erklärung finden.

So einfach und bestechend diese Exner'sche Theorie der Luftelektricität auch ist, so hat man doch andererseits festzuhalten, daß es erstlich noch nicht gelungen ist, nachzuweisen, daß von einer elektrisch geladenen Wasserfläche der aufsteigende Dampf Elektricität mitführt; und zweitens hat

Braun nachgewiesen, daß das Potentialgefälle mit der Lufttemperatur in innigem Zusammenhange steht, und um so kleiner wird, je höher die Temperatur steigt. Da im allgemeinen bei hoher Lufttemperatur auch der Dampfdruck groß ist, so würde die Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Dampfdruck nur eine scheinbare sein, und in Wirklichkeit wäre der Zusammenhang mit der Temperatur der ursprüngliche.

Eine andere ausreichende Erklärung aller Erscheinungen, des täglichen, des jährlichen Ganges, sowie der nichtperiodischen Veränderungen des Potentialgefälles fehlt übrigens noch. Es ist sehr wahrscheinlich, daß dieselbe auf die neueren Ansichten über die Elektricitäts-Leitung in Gasen, auf die „Jonen"-Theorie wird aufgebaut werden müssen.

Sicher ist, daß der Sitz jener elektrischen Massen, durch welche die fortwährenden Schwankungen des Potentialgefälles hervorgebracht werden, in den unteren Schichten der Atmosphäre zu suchen ist, denn auf dem Sonnblick z. B. ist der jährliche Gang so gut wie verschwunden: die Massen, welche ihn hervorbringen, müssen also unterhalb dieser Höhe liegen.

Es wäre allerdings möglich, daß die Luft in den oberen Schichten noch eine elektrische Ladung besäße, aber diese Ladung müßte dann jahraus jahrein eine unveränderliche sein. Nach Ballon-Beobachtungen zu schließen, wird das Potentialgefälle, je höher man steigt, immer kleiner, ja es scheint in den höchsten Schichten bis auf Null herabzugehen. Es würde hieraus folgen, daß in der That eine konstante positive Ladung der Luft auch in den höheren Schichten vorhanden ist, derart, daß genau so viel positive Elektricität sich in der Atmosphäre befinden würde, als negative auf der Erdoberfläche, vorhanden ist.

Gewiß ist jedenfalls die negative Ladung der Erde

wahrscheinlich eine gleich große positive Ladung der Atmosphäre. Zweifellos ist ferner, daß eine bestimmte Menge negativer Elektricität einen fortwährenden Kreislauf macht, von der Erdoberfläche in die Atmosphäre aufsteigt und von dort teilweise durch Leitung vermutlich auch durch die Niederschläge zur Erde wieder zurückgelangt. Ihr verdanken wir den Wechsel im elektrischen Zustande der Atmosphäre.

§ 48. Gewitterelektricität. Blitz und Elmsfeuer.

Sobald sich Wolken zeigen, ist das normale Potentialgefälle bedeutend gestört; beim Nahen von Gewitterwolken steigt dasselbe nach Exner bis auf — 8000 Volt/m und höher. In den Wolken sind also große Elektricitätsmengen aufgespeichert. Auch hierfür besitzen wir noch keine völlig sichere Erklärung. Es ist nur sehr wahrscheinlich, daß das Zusammenfließen der Tropfen die Ursache ist. Lenard hat nemlich gezeigt, daß wenn Tropfen zusammenfließen, die Tropfen und die sie umgebende Luft entgegengesetzte Elektricitäten annehmen.

Hat sich in den Wolken so viel Elektricität aufgehäuft, daß die Spannung zwischen Erde und Wolke oder zwischen zwei verschiedenen Wolken genügend groß ist, so kann die Elektricität den Widerstand der Luft überwinden und überspringen. Es entsteht der Blitz; und in seiner Begleitung tritt das mit der Entladung verbundene Geräusch, der Donner, ein. Geht die Entladung zur Erde hin, so entsteht der „Zickzackblitz"; findet sie zwischen den Wolken statt, so sehen wir nur einen hellen Schein, den Flächenblitz, ähnlich dem Wetterleuchten, dem Widerschein von Blitzen entfernterer Gewitter. Die Kugelblitze, Feuerbälle, die oft mit geringer Geschwindigkeit, scheinbar regellos über

er Erde dahinziehen, scheinen verzögerte Entladungen zu sein.

Zwischen dem Niederschlag und der Elektricität beim Gewitter besteht hiernach kein engerer Zusammenhang. Der heftige Gewitterregen ist eine Erscheinung für sich und findet deine Erklärung in der plötzlich auftretenden reichlichen Kondensation; der Blitz ist nur eine Begleiterscheinung, hervorgebracht durch das Zusammenfließen der kleinsten Tröpfchen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß dem Gewitterregen eine plötzliche Störung des Gleichgewichts der Atmosphäre, ein rasches Aufsteigen der dampfreichen, erwärmten Luft zu Grunde liegt. Darum treten die Gewitter am häufigsten zur warmen Tages- und Jahreszeit auf, teils lokal, teils ziehen sie in schmalen Bändern, mit der Breitseite voran, west-östlich oft über ganz Europa dahin, vielfach mit einer Geschwindigkeit von 100 und mehr km in der Stunde und begleitet von einem plötzlichen Auf- und Absteigen des Barometers, den „Gewitternasen", so genannt nach der Form, die ein Barogramm um diese Zeit erkennen läßt.

Ein anderer Ausgleich der Elektricität zwischen Wolke und Erde geht am schönsten und intensivsten auf Bergspitzen vor sich, die unmittelbar in die Wolken eintauchen: im St. Elmsfeuer. Auf dem Sonnblick hat man diese Erscheinung vielfach studiert. Besonders nach Gewittern beobachtete man bläuliche, hellleuchtende Flämmchen, die sich unter summendem Geräusch am Blitzableiter, an Hausecken, ja am Menschen zeigen.

Entfernt man sich nur ein wenig vom Hause, so bilden sich oft 5 cm lange Feuerbüschel an den Fingern der ausgestreckten Hand, an den Schnurrbartspitzen, an den Fasern des Lodenhuts, kurz überall, wo eine Spitze vorhanden ist.

Bei dieser zauberhaften Erscheinung geht gleichfalls ein Ausströmen der Elektricität vor sich, nur in verschiedener Weise, je nachdem die ausströmende Elektricität positiv oder negativ ist. Obermayer wies experimentell nach, daß, wenn die Büschel lang sind und auf rötlichen Stielen aufsitzen (Fig. 44 a), die Elektricität positiv ist, bei kleinen Büscheln, die Blütenkelchen gleichen (Fig. 44 b), dagegen negativ. Im Winter überwiegt nach den Beobachtungen P. Lechners auf dem Sonnblick das negative, im Sommer das positive Elmsfeuer. Verfasser, der zahlreiche Elmsfeuer auf dem Sonnblick zu sehen Gelegenheit hatte, nahm wahr, daß die Blitze bei positivem Elmsfeuer rot, bei negativem blau waren. P. Lechners Beobachtungen bestätigen diese Wahrnehmung. Was die Blitzschläge betrifft, so fügen wir die tröstliche Mitteilung bei, daß nach der Statistik der Blitzschläge in Belgien auf 470000 Menschen jährlich nur 1 Todesfall durch Blitzschlag zu rechnen ist.

Fig. 44. Elmsfeuer a. positiv, b. negativ.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

§ 49. Tageslicht, blaue Farbe des Himmels, Dämmerung.

In § 12 haben wir erfahren, daß die Sonnenstrahlung, welche in der Atmosphäre scheinbar verloren geht, durch diffuse Reflexion nach allen Seiten zerstreut wird und uns den Himmel hell erscheinen läßt. Ferner wissen wir, daß insbesondere die kurzwelligen, die blauen und violetten Strahlen der diffusen Reflexion unterworfen sind; deshalb muß unter den Strahlen, welche uns vom Himmel reflektiert werden, das Blau überwiegen.

Lord Rayleigh war der erste, welcher auf diese Ursache der blauen Farbe des Himmels hinwies; Euler hatte gemeint, die Luft sei an sich blau. Wäre letztere Ansicht richtig, so müßten Sonne und Mond uns ebenso blau erscheinen, wie wenn wir sie durch ein blaues Glas betrachteten.

Wie alles diffus reflektierte Licht, so zeigt sich auch das Himmelslicht *polarisiert*, und nur zwei Punkte in der Nähe der Sonne, einer etwa 20° oberhalb (der Babinetsche), einer 20° unterhalb (der Brewstersche) und endlich ein dritter (der Aragosche) 20° oberhalb des Gegenpunktes der Sonne sind neutral. Die Untersuchung dieser neutralen Punkte ist von großer Wichtigkeit.

Auch wenn sich die Sonne noch nicht über den Horizont erhoben hat oder schon untergegangen ist, werden die Strahlen die oberen Atmosphärenschichten treffen, und so werden wir, so lange die Sonne nicht mehr als 16° unter dem Horizont steht, den Himmel in der Nähe der auf- oder untergehenden Sonne noch erleuchtet sehen.[1] Das ist das Phänomen der *Dämmerung*.

Je steiler die Sonnenbahn gegen den Horizont geneigt ist, um so kürzer währt die Dämmerung; am längsten dauert deshalb die Dämmerung in den höheren Breiten. Während am Aequator die Nacht durch dieselbe um $2^3/_4$ Stunden verkürzt wird, beträgt diese Verkürzung im Winter unter dem 70. Breitenkreis 10 bis 11 Stunden.

Die *optischen Erscheinungen*, welche die Dämmerung charakterisieren, beginnen übrigens schon, wenn sich die Sonne bis auf 4 oder 5° dem Horizont genähert hat. Battelli, der in Cagliari regelmäßige Beobachtungen über die

[1] Es ist die „*astronomische Dämmerung*". Sie hört auf, so, bald die Sterne 6. Größe erscheinen.

Dämmerung angestellt hat, unterscheidet dabei vier Phasen der Abenddämmerung. Die erste Phase wird charakterisiert durch das Auftreten eines glänzenden, weißen Hofes um die Sonne, während gleichzeitig eine gelbliche Färbung am Horizont eintritt. Sobald die Sonne den Horizont berührt, beginnt die zweite Phase: der untere Teil der gelben Färbung geht ins rötliche über, der obere färbt sich schön orange. Etwa 20 Minuten nach Sonnenuntergang haben wir die dritte Phase: das „erste Purpurlicht", eine kreisförmige purpur- bis rosarote Scheibe mit horizontaler Basis von etwa 30 bis 40° Breite.

Mit dem Verschwinden dieser Purpurfärbung im Westen beginnt dann die vierte Phase: der rötliche Grund im Westen nimmt zu, und die obere gelbliche Schichte wird immer goldiger. Ist die Sonne bis auf 7° unter den Horizont gesunken, dann beginnt manchmal noch das zweite Purpurlicht, das aber nie die Intensität des ersten erreicht.

Wir können das Auftreten dieser verschiedenen Farben nicht durch die bloße diffuse Reflexion erklären: die Ursach liegt teils in der Brechung, teils in der Beugung, welche Lichtstrahlen stets erleiden, sobald sie durch ein Medium hindurchgehen, in welchem kleine Körperchen, wie Tröpfchen, Eiskrystalle oder Staubteilchen, schweben.

§ 50. Ringe, Höfe, Neben-Sonnen und -Monde, Purpurlicht, Bishopscher Ring, leuchtende Wolken.

Die wichtigsten Erscheinungen, welche der Störung der Lichtstrahlen durch Tröpfchen und Eiskrystalle ihre Entstehung verdanken, sind die Höfe und Ringe. Man gebraucht diese beiden Ausdrücke vielfach für einander; wir wollen aber der

Unterscheidung folgen, die Pernter giebt und die allein dem Sprachgebrauche der Physiker entspricht.

Bei einem Hofe (Halo) erscheint Sonne oder Mond inmitten eines bläulich-weißen Feldes, das stets deutlich rot gesäumt ist. An dieses Rot aber schließen sich die Farben des Regenbogens, ein blauer, grüner, blaßgelber und ein roter Ring, an. Bisweilen zeigt sich aber diese Farbenfolge noch ein zweites oder drittes Mal; oder ist schon die erste Folge vermischt, dann haben wir ein weißlich-blaues, rotumsäumtes Feld vor uns.

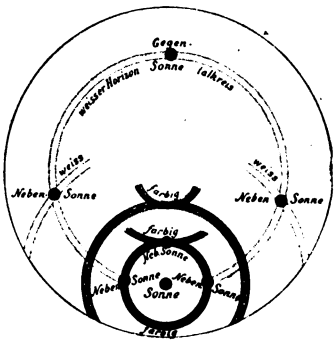
Gerade umgekehrt ist die Reihenfolge der Farben bei den Ringen. Bei ihnen beginnt die Farbenfolge auch mit Rot, diesem aber folgt orange, gelb und grün, während blau den Ring nach außen abschließt.

Die Ringe sind aber auch meistens viel größer und zeigen ganz bestimmte Halbmesser von 22°, 45° oder 90°; Höfe haben meist nur Halbmesser von wenigen Graden.

Schon die umgekehrte Farbenfolge deutet auf den Unterschied in der Entstehung der Höfe und der Ringe. Die ersteren entstehen durch Beugung der Strahlen an den kleinen Tröpfchen, und Frauenhofer hat sogar künstlich durch Anbringung von durchsichtigen Kügelchen auf einer Glasplatte solche Höfe erzeugt. Karl Exner aber hat theoretisch gezeigt, daß in der That durch Tröpfchen solche Erscheinungen entstehen müssen, und gelehrt, wie man sogar aus dem Halbmesser der Höfe die Größe der Tröpfchen berechnen kann. Nach Kämtz' Messungen wäre ihr Durchmesser auf etwa 0.0215 mm zu veranschlagen. Sind die Tröpfchen aber von sehr verschiedener Größe, dann lagern sich die einzelnen Farbenringe übereinander, und wir werden allein den roten Saum zu sehen bekommen.

Die Ringe dagegen, welche ausnahmslos nur im Cirrusgewölke vorkommen, entstehen durch Brechung der Strahlen in den Eiskrystallen. Dies lehrt schon die Farbenfolge.

Fig. 45 stellt einen vollkommen ausgebildeten Sonnenring dar, wie er 1661 zu Danzig beobachtet worden ist. Man kann an ihm drei Arten von Ringen unterscheiden: solche, deren Mittelpunkt die Sonne ist, solche, welche durch die Sonne gehen, und solche, welche gegen die Sonne konvex sind. Dort aber, wo zwei Ringe sich schneiden, entstehen die Nebensonnen bezw. Nebenmonde. Alle Einzelheiten dieser Erscheinungen lassen sich durch die Brechung der Strahlen in den in der Luft schwebenden kleinen sechsseitigen Eisprismen erklären, ebenso die Größe der Radien und der weiße „Horizontalkreis", welcher durch die Sonne geht und den ganzen Himmel parallel zum Horizonte umspannt. Er verdankt seine Entstehung der Reflexion der Strahlen an den äußeren Flächen der Eiskrystalle.



Hellmann hat auch den jährlichen Gang der Ringe untersucht und dabei gefunden, daß Sonnenringe am häufigsten im Mai, am seltensten im Dezember sind, während Mondringe am häufigsten im Februar, am seltensten im August beobachtet werden. Für diesen Gang ist in erster Linie die Tages- und Nachtlänge entscheidend: je länger der Tag, je

länger also die Sonne sichtbar ist, um so öfter wird man Ringe an ihr beobachten. Ebenso maßgebend ist die Häufigkeit der Eiskrystalle: faßt man Sonnen- und Mondringe zusammen, so zeigt sich ein Maximum im Februar, ein Minimum im August.

Verwandt mit den Höfen ist das „erste Purpurlicht". Man hat diese Erscheinung besonders seit den abnormen Dämmerungserscheinungen des Jahres 1883 studiert, wie denn seither die atmosphärische Optik einen großen Aufschwung genommen hat. Die damaligen Erscheinungen zeichneten sich durch die außerordentliche Pracht des Abendrots, eben des Purpurlichtes, und das Auftreten des „Bishopschen Ringes" aus. Die Sonne erschien inmitten einer glänzendweißen Scheibe, welche in etwa 10° von dem Gestirn in einen 6 bis 8° breiten, rötlich-braunen Ring überging.

Diese abnormen Erscheinungen hat Lockyer auf den Ausbruch des Vulkans Krakatau in der Sundastraße zurückgeführt, durch welchen eine ungeheure Masse von Staub im Zustande feinster Zerteilung bis in die höchsten Atmosphärenschichten emporgeschleudert worden seien. Der Bishopsche Ring wäre hiernach nichts anderes als ein gewöhnlicher Sonnenhof, hervorgebracht durch die feinen Staubteilchen, von denen nach Pernters Berechnung die größten einen Durchmesser von 0·00342 mm, die kleinsten von 0·00185 mm haben sollen.

Der unwiderlegliche Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme ist jedoch erst durch Kießling erbracht worden, welcher das gesamte Beobachtungsmaterial verarbeitet und gezeigt hat, daß in der That diese optische Störung vom Krakatau aus über die ganze Erde verbreitet worden ist.

Aber auch das Purpurlicht steht in engem Zusammenhang mit dem Bishopschen Ring. Nach Riggenbachs

Messungen stimmen die Dimensionen beider genau überein; beide sind eine und dieselbe Erscheinung, und man hat somit auch das erste Purpurlicht als eine Beugungserscheinung aufzufassen.

Während nun aber das Purpurlicht eine bleibend Erscheinung ist und schon vor und nach 1883, wenn auch weniger stark, beobachtet wurde, ist der Bishopsche Ring allmählich verblaßt und 1886 unsichtbar geworden. Er verschwand in dem Maße, als sich die Staubteilchen unter dem Einflusse der Schwere zu Boden senkten. Man vermochte auch wirklich die Höhe der Staubschichte aus der Dämmerung zu berechnen und hat dabei nachgewiesen, daß von August 1883 bis Januar 1884 sich die Schichte aus etwa 30000 m Höhe bis auf rund 16000 m Höhe, d. h. um etwa 14000 m gesenkt hat.

Trotzdem muß der Bishopsche Ring, wenn er mit dem Purpurlicht im Wesen identisch ist, auch dann, wenn er zu lichtschwach ist, um wahrgenommen werden zu können, nach Pernter doch fortwährend vorhanden sein. Es scheint, daß die „neutralen" Punkte mit ihm im Zusammenhang stehen, denn auch die Polarisation des Himmelslichtes war 1883 bis 1886 gestört; der Babinet' und Aragosche Punkt stand nach Messungen von Busch viel weiter von der Sonne ab, näherte sich ihr aber von 1886 bis 1899 wieder regelmäßig (beim Babinetschen Punkt von 23·9° bis 16·8°). Ueberhaupt äußer sich nach Busch jede atmosphärisch-optische Störung sofort an dem Abstand der neutralen Punkte, und von 1891 an scheint eine schwache Erneuerung der Störung, verbunden mit abnormen Dämmerungserscheinungen, aufgetreten zu sein.

Auch die „leuchtenden Nachtwolken", leichte, cirrusartige bis tief in die Nacht hinein leuchtende Gebilde,

welche man zuerst 1885 wahrgenommen hat, und von denen 1891 nur noch schwache Spuren zu sehen waren, hat man mit dem Krakatau-Ausbruch in Verbindung gebracht. Jesse, der sie eingehend untersuchte, ist zu dem Schlusse gekommen, daß sich ihr spätes Leuchten durch ihre ungeheure Höhe erkläre, in welcher die Sonnenstrahlen sie noch zu treffen vermögen. Er ermittelte mit großer Sicherheit Höhen von 70 bis 80 Kilometern!

§ 51. Der Regenbogen.

Auch der Regenbogen verdankt seine Entstehung der Anwesenheit von Tröpfchen in der Atmosphäre. Er erscheint, sobald bei vollem Sonnenschein in einer der Sonne gegenüberliegenden Richtung Regentropfen fallen. Die Farbenfolge in seinem farbigen Band ist dieselbe wie die der Höfe: rot auswärts, violett nach innen.

Der Regenbogen entsteht durch die Brechung der Sonnenstrahlen in den Regentropfen. Verfolgen wir einen Strahl S a (Fig. 46), so wird derselbe sofort bei seinem Eintritt in den Tropfen gebrochen und in seine farbigen Bestandteile zerlegt. An der Rückseite des Tropfens in b wird der Strahl reflektiert und gelangt nach abermaliger Brechung beim Austritt in c in der Richtuug c A in das Auge des Beobachters. Betrachten wir nun nicht bloß einen einzelnen Strahl, sondern ein Büschel paralleler Strahlen, welche auf einen Tropfen auffallen, so fällt natürlich jeder Strahl nnter einem anderen Winkel auf; die einen fast senkrecht zur Tropfenoberfläche, die anderen mehr oder weniger schief, und dementsprechend wird dann

Fig. 46. Regenbogen.

auch der Winkel, um welchen der Strahl abgelenkt wird, ein verschiedener sein. Rechnung und Experiment lehren nun, daß dieser Winkel um so kleiner wird, je schiefer der Strahl auffällt, seinen kleinsten Wert für einen Auffallwinkel von etwa 60° erreicht, und dann wieder für noch größere Winkel kleiner wird. Die parallel auftretenden Strahlen treten also aus dem Tropfen nicht mehr parallel, sondern zerstreut aus, aber diejenigen, welche unter jenem Winkel von etwa 60° auffielen, die treten am wenigsten zerstreut, fast parallel aus.

Die gewöhnliche, aber nicht strengrichtige Descartessche Theorie des Regenbogens sagt nun: diese nahe parallel austretenden Strahlen, treffen konzentriert unser Auge und deshalb sind nur sie „wirksam".

Da nun jener Winkel von etwa 60° für jede Strahlenart einen etwas anderen Wert hat, so sehen wir in all den zahllosen Tröpfchen, aus welchen die Sonnenstrahlen in unser Auge reflektiert werden, ein Farbenband, den „Hauptregenbogen". Da es aber auch Strahlen S′ a′ giebt, welche nach zweimaliger Reflexion in b′ und c′ in unser Auge gelangen, so erblicken wir häufig noch einen zweiten, den Nebenregenbogen; in ihm ist die Farbenfolge die umgekehrte. Nach dieser Theorie von Descartes sollte nun, da jede Farbe ein bestimmtes Brechungsverhältnis besitzt, der Regenbogen nicht bloß eine bestimmte Farbenfolge aufweisen, sondern auch eine bestimmte Breite besitzen, während die Erfahrung lehrt, daß dies nicht richtig ist.

In der That muß denn auch die richtige Theorie des Regenbogens, jene von Airy, nicht bloß die „wirksamen" Strahlen in Betracht ziehen, sondern auch die benachbarten, zerstreut austretenden Strahlen.

Thut man dies, dann erkennt man, daß Beugungserscheinungen auftreten müssen, und daß diese sehr wesentlich von der Tropfengröße abhängen. Es tritt eine Uebereinanderlagerung der verschiedenen Farben ein und die sich daraus zusammensetzende Farbe hängt ganz von der Tropfengröße ab. Daraus erklärt sich die große Veränderlichkeit in der Breite und Farbenfolge des Regenbogens, auch die innerhalb des ersten und außerhalb des zweiten Bogens auftretenden roten und grünen Bögen, die „sekundären" oder „überzähligen" Regenbögen finden darin ihre Erklärung.

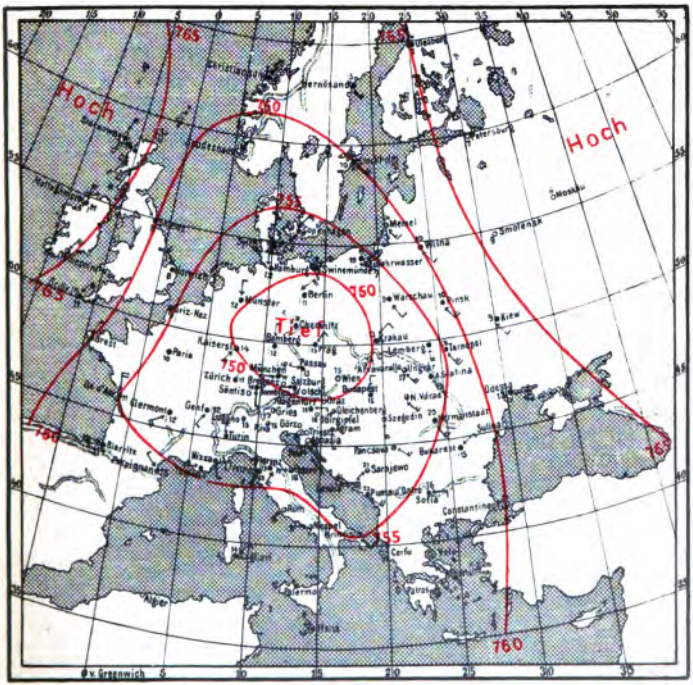
Pernter hat die Airysche Theorie weiter ausgebaut und für alle möglichen Tropfengrößen Breite und Farbenfolge berechnet.

Bei sehr kleinen Tröpfchen tritt Uebereinanderlagerung aller Farben schon beim Hauptregenbogen auf. Es entsteht dann der „weiße Regenbogen".

§ 52. Das Polarlicht.

Eine prächtige Lichterscheinung der Atmosphäre in den höheren Breiten, jedoch von rein elektrischer Natur, ist das Polarlicht. Es erscheint teils als Lichtbogen am Horizont, unter welchem der Himmel dunkler zu sein scheint als ringsum, teils in aufflackernden Strahlen und vorhangartig ausgebreiteten Bändern. Seine Farben sind weiß bis rot. Diese Erscheinung steht in innigem Zusammenhang mit dem Erdmagnetismus und gehört deshalb erst in zweiter Linie in das Gebiet der Meteorologie. Erst in neuerer Zeit hat Paulsen eine Theorie desselben aufgestellt. Nach ihm ist das Nordlicht eine Fluorescenzerscheinung, ein Analogon zu der neuerdings vielfach untersuchten „Kathodenstrahlung". Es ist dies jene Strahlung, welche vom negativen Pol in

Fig. 47. Wetterkarte.



Die Linien (Isobaren) verbinden die Orte mit gleichem (aufs Meeres-Niveau reduciertem) Barometerstande. Die Pfeile fliegen mit dem Winde; deren Befiederung giebt die Windstärke an. ⟵ schw. Wind. ⟵ Orkan. Die Ziffern bei den Stationen bedeuten die Temperatur. Bewölkung ○ klar bis ● bedeckt. ● Regen. ● ✱ Schnee. ● ≡ Nebel. ● K Gewitter.

Allgemeine Uebersicht:

Ueber Mitteleuropa ist der Luftdruck rapid gefallen und befindet sich ein tiefes Depressionscentrum über Nordböhmen, unter dessen Einfluss in ganz Centraleuropa zumeist trübes, zu Gewitterbildungen geneigtes Wetter mit ausgebreiteten und vielfach sehr ergiebigen Niederschlägen herrscht. Maximalgebiete bedecken den Nordwesten und Nordosten von Europa. Die Temperatur ist im Westen teilweise etwas gesunken, im Osten gestiegen.

stark luftverdünnten Röhren (Geißlersche Röhren) ausgesendet, von der Luft absorbiert wird und dabei Fluorescenzerscheinungen hervorruft. Nach Paulsen existiert an der Grenze der Atmosphäre, wenigstens in den Polargegenden, eine Schichte negativer Elektricität, von welcher eine elektrische Strahlung ausgeht, die schon in den obersten Atmosphärenschichten absorbiert wird und so dieselben zum Leuchten bringt. Der Sitz des Nordlichts wurde in Höhen von 50—60 km nachgewiesen; ganz ausnahmsweise senkt sich dasselbe aber auch bis 5 km herab.

Wetterprognose.

§ 53. Grundlage der wissenschaftlichen Prognose.

Wir verstehen unter „Wetter" die Gesamtheit aller einzelnen meteorologischen Elemente, als Temperatur, Feuchtigkeit, Bewölkung, Niederschlag u. s. w., welche jeweilig unser natürliches Empfinden beeinflußt. In den Tropen und in der Gegend der Monsune verläuft auch das Wetter ungemein regelmäßig und gesetzmäßig, während es in unseren Breiten einen sprichwörtlich wechselvollen Charakter hat.

Die Lehre von diesen Gesetzen und Aenderungen, die „Wetterlehre" mit ihrer praktischen Anwendung, der Wetterprognose, kann bis jetzt kaum als selbständige Wissenschaft gelten, muß vielmehr vorläufig noch als ein Zweig der Meteorologie betrachtet werden. Eine wissenschaftliche Behandlung derselben wurde überhaupt erst um die Mitte unseres Jahrhunderts, hauptsächlich durch die Arbeiten von Buys Ballot, angebahnt, als man entdeckte, daß das Wetter, der Gesamtkomplex der einzelnen meteorologischen Faktoren,

genau bestimmt sei, sobald man nur von einem derselben, dem Luftdruck, die Verteilung über einem größeren Gebiete in der betreffenden Zeit kenne. Nun begann man mit der Entwerfung der „Wetterkarten", deren erste 1858 durch Leverrier veröffentlicht wurde. Dieselben beruhen auf den Beobachtungen, welche an verschiedenen Stationen in ganz Europa um 7 Uhr früh angestellt und von dort telegraphisch an eine Zentrale berichtet werden. Es handelt sich dabei vor allem darum, die von allen Stationen gemeldeten Beträge des Luftdrucks auf das Meeresniveau zu reduzieren und alle Punkte gleichen Luftdrucks durch Isobaren zu verbinden. Diese Karten (Fig. 47) geben somit ein vollständiges Bild der Luftdruckverteilung in ganz Europa für den betreffenden Zeitpunkt; mit der Luftdruckverteilung ist aber erfahrungsgemäß das ebenfalls aus den Karten ersichtliche Wetter für das ganze Gebiet vollständig bestimmt.

Ehe wir zum Problem einer Wetterprognose schreiten können, drängt sich uns somit die Vorfrage auf: Wie hängt das Wetter von der Druckverteilung ab? Welches Wetter entspricht einer bestimmten Druckverteilung?

§ 54. Das Wetter bei verschiedener Druckverteilung.

So mannigfaltig sich nun die Druckverteilung gestalten kann, so verschieden ist auch das Wetter; gleichwohl hat man gewisse charakteristische Typen der Druckverteilung ermittelt. Wir geben im Folgenden einige Beispiele, aus denen der Zusammenhang zwischen Druckverteilung und Wetter erhellt.

Vor allem fassen wir das barometrische Maximum ins Auge. Wir wissen, daß innerhalb eines solchen die Luft in absteigender Bewegung begriffen ist, sich dabei erwärmt und dadurch immer trockener wird. Im Gebiete eines

Maximums lösen sich somit alle Wolken auf: wir haben heiteren Himmel und schönes Wetter. Da der heitere Himmel und die trockene Luft vor allem eine Vergrößerung der Ein- und Ausstrahlung bedingen, so haben wir hier große tägliche Temperaturschwankungen: warm am Tage, kühl bei Nacht. Im Sommer, wo bei hohem Sonnenstand die Einstrahlung bedeutend überwiegt, haben wir daher durchgehends im Maximum sehr warmes, dagegen im Winter bei vergrößerter Ausstrahlung in den langen Nächten umgekehrt abnorm kaltes Wetter. Einen ganz andern Charakter hat dagegen das Wetter in einem Minimum: da ist, wie wir wissen, die Luft in aufsteigender Bewegung begriffen, also zu Wolken- und Niederschlagsbildung sehr geneigt.

Fig. 48 bringt schematisch nach Abercromby das Wetter zur Darstellung, wie es sich in den verschiedenen Teilen einer Depression gestaltet. Wir bemerken vor allem eine ausgesprochene Verschiedenheit auf der Vorder- und Rückseite einer solchen Depression. Ein charakteristischer Unterschied von dem Maximum besteht ja auch darin, daß die Depression in einer bestimmten Richtung sich bewegt. Wir gewahren im Innern des Minimums, etwas gegen vorne vorgeschoben, ein Niederschlagsgebiet, auf der Vorderseite ein Ueberwiegen der Stratus-, auf der Rückseite der Cumulusbildung. Dieses Schema lehrt uns aber auch den wahren Wert und die wissenschaftliche Bedeutung so mancher populären Wetterregel würdigen. So sehen wir,

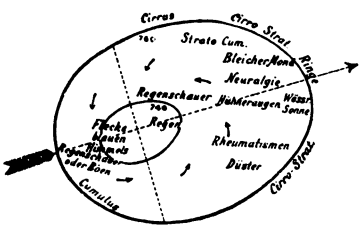


Fig. 48. Wetter im Barometer-Minimum.

daß für einen Ort, über welchen eine Depression hinzieht, sich zuerst ein Cirrusschleier mit Sonnen- und Mondringen einstellt; der Rheumatismus, die „Hühneraugen" machen sich bemerkbar; es nahen immer niedrigere Isobaren, das Barometer fällt. Darin findet das Volk mit Recht Vorzeichen von Niederschlägen nnd unruhigem Wetter, denn dieses letztere tritt ja ein, sobald das Zentrum der Depression über den Beobachter hinwegzieht.

Doch auch davon überzeugen wir uns, daß derartige Wetterregeln nicht auf volle Zuverlässigkeit Anspruch machen können. Denn es braucht nur die Depression von ihrer ursprünglich eingeschlagenen Bahn seitlich abzuweichen, so bleibt der Niederschlag vielleicht ganz aus. Oder wir beobachten ein fortwährendes Fallen des Barometers: trotzdem handelt es sich gar nicht um eine eigentliche Depression, sondern nur um eine Furche tiefen Drucks, in welcher wieder kein Niederschlag zu folgen braucht.

Alle diese Wetterregeln haben somit, wenn ihnen auch ein ganz gesunder Kern innewohnt, stets nur teilweise Richtigkeit, und nur an der Hand der Wetterkarten können sie zu guten Prognosen verwendet werden.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir in der gleichen Weise das Wetter für den Keil (ein Gebiet hohen Druckes, das sich zwischen zwei Depressionen einschiebt) oder den Sattel (ein Hochdruckgebiet, das zwei Maxima verbindet) oder die Furche u. s. w. besprechen. Für verschiedene Oertlichkeiten liegen ja auch die Verhältnisse vielfach verschieden; die von Abercromby hauptsächlich für England ermittelten Verhältnisse passen manchmal nur schlecht auf andere Gegenden. Für jedes Land müßte somit vor allem die Beziehung zwischen den einzelnen Isobarentypen und dem entsprechenden Wetter

nach dem vorliegenden Beobachtungsmateriale unterſucht werden. Die Durchführung dieſer Aufgabe bleibt der Zukunft vorbehalten.

§ 55. Die Prognoſe und ihr gegenwärtiger Stand.

Denken wir uns dieſe Vorfrage auch für jede Oertlichkeit in allen ihren Einzelheiten gelöſt, ſo kennen wir doch nur, und zwar aus der Luftdruckverteilung, wie ſie uns die Wetterkarte darſtellt, das Wetter, wie es *iſt* oder richtiger in jenem Zeitpunkt *war*, für welchen die Karte entworfen worden iſt. Wie aber ſollen wir aus ihr das künftige Wetter erſchließen? Dies iſt nur möglich, wenn es uns gelingt, aus der heutigen Luftdruckverteilung einen Schluß auf die von morgen zu ziehen.

Unſere erſte Aufgabe wird aber dann die ſein, nach den Urſachen der Aenderungen in der Luftdruckverteilung zu forſchen: kennen wir dieſe, ſo iſt es nicht ſchwer, die durch ſie hervorgebrachten Aenderungen vorauszubeſtimmen. Exakte Prognoſen des Wetters ſetzen ſomit eine vollkommene Kenntnis der Geſetze der Atmoſphäre voraus: deren Studium, vor allem dasjenige der Entſtehung, Bewegung und Umbildung der Gebiete, hohen und tiefen Drucks iſt ſonach die Hauptaufgabe des Meteorologen.

Bis jetzt wiſſen wir nur, daß der hohe Luftdruck ſtets die Tendenz hat, ſeinen Standpunkt möglichſt lange zu erhalten, während umgekehrt die Minima im allgemeinen immer im Fortſchreiten begriffen ſind. Für letztere hat van Bebber gewiſſe *Zugſtraßen* ermittelt; aber derſelben giebt es ſo viele und es iſt ſo unbeſtimmt, welchen dieſer Wege gerade eine ſpezielle Depreſſion einſchlagen wird, daß wir noch ziemlich weit davon entfernt ſind, mit einiger Verläßlichkeit auch nur auf 24 Stunden vorauszuſehen, in welcher Weiſe die

augenblickliche Druckverteilung sich umformen wird. Dennoch sind unsere Prognosen besser als ihr Ruf, denn unter 100 Fällen weisen unsere Prognosen doch 80—90 Treffer auf.

Viel trägt freilich hierzu der Umstand bei, daß im allgemeinen dem Wetter eine Tendenz zur Beständigkeit innewohnt. Ja so stark ist diese „Beharrungstendenz", daß es Professor Hermann Klein möglich ward, den Wetterprognosten einen recht bösen Streich zu spielen. Er ermittelte nämlich, wie viele Treffer der erzielen könnte, der jeden Tag zu prophezeien wagen würde: „Das Wetter wird morgen genau so sein, wie es heute ist." Und siehe da, es ergab sich das erheiternde Resultat, daß ein solch naiver Wetterprophet eben so viel Treffer erziele, ja sogar noch etwas mehr als jener, welcher auf Grund der Wetterkarten Prognosen stellt. Mit Recht hat Bebber hiergegen geltend gemacht, daß trotzdem der wissenschaftlichen Prognose ein höherer Wert zukomme. Denn gerade der Wechsel des Wetters ist es ja, für den wir uns zumeist interessieren, und wenn es sich um einen Wetterwechsel handelt, dann hat der nach Kleins Rezept Prophezeiende gar nie einen Treffer aufzuweisen, während z. B. bei den Prognosen der Hamburger Seewarte auf Wechsel der Witterung 121 gute nur 35 schlechten, 94 sehr gute nur 22 sehr schlechten gegenüberstanden. Besonders da, wo man neben den telegraphisch ausgegebenen Prognosen, die auch eine kurze Schilderung der Luftdruckverteilung enthalten, noch das Barometer aufmerksam verfolgte, um so einige Anhaltspunkte für die Veränderung zu gewinnen, und die kombinierten telegraphisch-lokalen Prognosen etwa durch optische Signale der Umgebung bekannt gab, da hat man schon recht schöne, der Landwirtschaft förderliche Ergebnisse erzielt.

§ 56. Kosmische Einflüsse auf das Wetter.

Da man die Sonne in erster Linie als Urheberin aller Veränderungen in der Atmosphäre erkannt hatte (vergl. S. 21), so lag es nahe, auch dem Monde eine gewisse Einwirkung auf das Wetter zuzuschreiben. Diese Ansicht ist auch uralt; durch Falb ist dieselbe weit verbreitet, aber auch — in Mißkredit gebracht worden.

Falb nennt bekanntlich jeden auf die Neumonds- oder Vollmondszeit fallenden Tag einen „kritischen" und behauptet, daß in diesen Tagen irgendwo irgend etwas Besonderes vorgehe: Wolkenbrüche, Gewitter im Winter, Schlagwetter, Stürme, Ueberschwemmungen u. s. w. sollen an diesen „kritischen Tagen" vornehmlich zu erwarten sein.

Da aber nach seiner Meinung auch an den drei dem kritischen Tage vorausgehenden oder nachfolgenden Tagen solche Ereignisse eintreffen dürfen, so sind während eines Mondumlaufes von 28 Tagen 2mal sieben Tage belegt, und es wird schon nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit von je 2 derartigen Ereignissen eines auf einen jener 14 Tage fallen müssen, also als Treffer gezählt werden können. Daß solchen „Treffern" die gleiche Zahl von Nichttreffern entgegensteht, das pflegt man vornehm zu ignorieren. Pernter hat nachgewiesen, daß all diese Erscheinungen, die allerdings an „kritischen" Tagen vorkommen, genau eben so oft auch an den anderen Tagen eintreten.

Damit soll nun aber freilich nicht gesagt sein, daß der Mond keinen Einfluß auf das Wetter habe: dieser ist vielmehr sehr wohl möglich; worin er aber besteht, falls derselbe vorhanden ist, wissen wir noch nicht.

Und in der That scheint ein solcher Einfluß des Mondes

auf die Luftdruckverteilung zu existieren. Vielleicht ändert derselbe die Lage der Zugstraßen der Depressionen, vielleicht bewirkt er auch Aenderungen in der allgemeinen Zirkulation. Je nach dem Orte, um den es sich handelte, wäre dann auch der Mondeinfluß ein ganz verschiedener: wo der hohe Druck zur Zeit des Vollmondes verstärkt würde, da wäre der Niederschlag geringer; an jenem Orte, von wo dieser Luftüberschuß weggeströmt und gleichzeitig der Druck verringert würde, da müßte umgekehrt um diese Zeit eine Neigung zu Niederschlag eintreten. Vielleicht erklären sich so die widersprechenden Ergebnisse verschiedener Oertlichkeiten.

Nicht viel anders steht es mit dem Einfluß der Sonnenflecken auf das Wetter. Zweifellos ist ein Einfluß derselben auf die Luftdruckverlagerung anzunehmen, zu sicheren Ergebnissen ist man jedoch noch nicht gelangt. Würde es gelingen denselben zu finden, könnte man auf längere Zeit hinaus das Wetter voraussagen.

Bis jetzt ist eine Prognose auf 24 Stunden das äußerste, was die Wetterkunde zu leisten vermag. Doch berechtigen die bisher gewonnenen Resultate zu den schönsten Hoffnungen für die Zukunft.

Bedeutung der Atmosphäre für unsere Erde.

§ 57. Bedeutung der Atmosphäre und ihrer Zusammensetzung für das Leben der Tiere und Pflanzen.

Wenn wir einen Rückblick werfen auf die letzten Ursachen all jener wechselvollen Erscheinungen, die sich in de Atmosphäre abspielen, so führten sie uns überall in letzter Linie zu der Sonne, als dem Urquell aller Verwandlungen auf unserer Erde.

Für die Form, wie sich unter dem Einfluß der Sonne die atmosphärischen Vorgänge abspielen, ist die Kugelgestalt, die Achsenstellung und Rotation unserer Erde, aber auch die besondere Zusammensetzung der Atmosphäre maßgebend. Diese, durch die Schwerkraft an die Erde gefesselt, breitet sich als schützende Hülle, Lebensmedium und Verteilerin von Licht und Wärme um unseren Erdball.

Dem Sauerstoffgehalt der Luft verdanken wir die Möglichkeit organischen Lebens auf der Erdoberfläche, sowie auch die Möglichkeit der Verbrennungsprozesse, ohne welche wir eine Thätigkeit auf der Erde gar nicht denken können. Das Leben des Menschen und der Tiere ist ja übrigens auch wesentlich ein Verbrennungsprozeß; der in der Nahrung aufgenommene Kohlenstoff verbindet sich mit dem eingeatmeten Sauerstoff zu Kohlensäure, die durch die Lungen an die Atmosphäre abgeben wird.

Der Sauerstoff muß somit als der wichtigste Bestandteil unserer Atmosphäre bezeichnet werden. Jedoch ist der Wechsel im Sauerstoffgehalt der Luft nicht von großer Bedeutung. Spricht man von einer besonders sauerstoffreichen Luft und bezeichnet man dieselbe als eine hygienisch besonders wertvolle, so kann damit nur gemeint sein, daß in solcher Luft schädliche Beimengungen fehlen und deren Kohlensäuregehalt gering ist. Ebenso muß es als ein Vorurteil bezeichnet werden, wenn man ozonreiche Luft als besonders gesund bezeichnet. Ozon ist vielmehr ein giftiges Gas, aber insofern heilsam, als es die in der Luft schwebenden Bakterien vermindert.

Von ebenso hohem Wert als der Sauerstoff ist für den Kreislauf des Naturlebens der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre. Er ist dasselbe für das Pflanzenleben, was

der Sauerstoff für das Tierleben ist. Das Tier verzehrt Sauerstoff und erzeugt Kohlensäure, die Pflanze verzehrt Kohlensäure und giebt Sauerstoff von sich, indem sie unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen die Kohlensäure in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob sich Verbindung und Zersetzung stets das Gleichgewicht halten; oder ob nicht durch ein Ueberwiegen der Kohlensäureproduktion die Luft im Laufe der Zeit allmählich immer reicher an Kohlensäure werden müsse. Es scheint, daß diese Gefahr eine sehr geringe ist, schon weil das Meer diesbezüglich ausgleichend wirkt, indem es beim Ueberwiegen der Kohlensäure beträchtliche Mengen derselben absorbiert.

Nicht minder wichtig als die Kohlensäure ist für das Pflanzenleben ferner der Wasserdampf und der Staub. „Wäre kein Staub in der Luft," sagt Aitken, „so gäbe es weder Nebel noch Dunst, und wahrscheinlich auch keinen Regen; jedes Ding auf der Erdoberfläche würde sich in einen Kondensator verwandeln, jeder Grashalm, jeder Baumzweig würde von Wasser triefen, unsere Kleider wären durchnäßt und selbst das Innere unserer Häuser würde mit Feuchtigkeit überzogen sein. Den geordneten Wechsel von Trockenheit und Niederschlag verdanken wir also hauptsächlich dem Staube.

Auch der Kreislauf des Wassers vom Ocean, über dem es verdampft, zum Lande, über dem es im Niederschlage zur Erde zurückkehrt, wäre somit in der Form, in welcher er sich abspielt, ohne die eigentümliche Zusammensetzung der Atmosphäre nicht möglich. Indem sich der Wasserdampf an den einzelnen Staubteilchen, die vielfach Ammoniak als Nitrat oder Nitrit enthalten, niederschlägt und so diese zur Erde führt, erfüllt er gleichzeitig die wichtige Aufgabe, den Erdboden

durch Stickstoffzufuhr zu düngen. Nach den angestellten Beobachtungen enthält ein Liter Regenwasser in unseren Gegenden etwa 0·5 mgr Ammoniak,[1] über Städten noch viel mehr; auch in den Tropen haben Müntz und Marcano mehr, nämlich 1·55 mgr pro Liter, gefunden, ein Reichtum, der eine Folge der zahlreichen elektrischen Entladungen ist.

§ 58. Die Bedeutung der Atmosphäre im Energiehaushalte der Erde.

Einen tiefgreifenden Einfluß übt die Zusammensetzung unserer Atmosphäre auch auf den Wärmehaushalt unserer Erde. Wie oben (S. 39) gezeigt, sind bei dem Durchgang der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre zwei Vorgänge zu unterscheiden: die diffuse Reflexion, welcher besonders die kurzwelligen Strahlen unterworfen sind, und die Absorption, welche sich nur auf gewisse langwellige Strahlen erstreckt und speziell dem Wasserdampf und der Kohlensäure zuzuschreiben ist. Unterscheiden wir nur die sichtbaren und die dunklen Strahlen, so machen an der Grenze der Atmosphäre die ersteren etwa 45% der Gesamtenergie aus, die letzteren etwa 55%. Bei dem Durchgang durch die Atmosphäre nun verhalten sich beide Strahlenarten ganz verschieden. Von den leuchtenden, die allein der diffusen Reflexion unterworfen sind, gelangen etwa 52% durch die Atmosphäre hindurch, die restlichen 48% werden als diffuses Tageslicht nach allen Seiten zerstreut; ein bedeutender Teil derselben gelangt auf diesem Wege auch noch zur Erdoberfläche. Von den dunklen Strahlen gelangen dagegen etwa 73% bis zur

1 Zu Montsouris, wo man regelmäßige Messungen angestellt hat, fand man im Jahresmittel 0·71 mgr. pro Liter, d. i. bei der beobachteten Niederschlagsumme 391 mgr pro Quadratmeter.

Erdoberfläche, der Rest wird fast ganz in der Atmosphäre absorbiert.

Betrachten wir nun aber die Ausstrahlung! Diese besteht durchwegs aus dunklen Strahlen, gerade denen, welche von der Kohlensäure und dem Wasserdampf absorbiert werden. Somit verhält sich die Erde mit ihrer Atmosphäre ähnlich wie ein Glashaus. Glas läßt ja auch die Lichtstrahlen ziemlich leicht durch, absorbiert aber die dunklen Strahlen, es läßt somit die Sonnenstrahlen leicht eintreten, verhindert aber den Austritt der dunklen Strahlen. Genau so ist es bei der Erde. Wir verdanken es der „selectiven" Absorption, daß die Sonnenstrahlen zum überwiegenden Teile auf die Erde gelangen und deren Oberfläche wie die darüber befindliche Atmosphäre erwärmen, daß aber jene Strahlen, welche nun die Erdoberfläche und die Atmosphäre aussendet, von dieser letzteren zurückgehalten werden.

Es wird so eine fortwährende Aufspeicherung von Energie auf unserer Erdoberfläche ermöglicht: in den Waldungen und Kohlenflözen besitzen wir solche durch Jahrhunderte aufgespeicherte Sonnenenergie. Aller Kulturfortschritt beruht auf dieser Aufspeicherung von Energie. Welch bedeutende Arbeitsleistung repräsentiert z. B. ein Buch. Wir meinen nicht in geistiger Hinsicht, sondern nach der mechanischen Leistung, die erforderlich ist, um das Blei zu gewinnen, dieses in Letternform zu gießen, letztere passend anzuordnen und endlich auf dem Papier zum Abdruck zu bringen, zu dessen Gewinnung abermals eine riesige Arbeit geleistet werden mußte. In letzter Linie ist es die Sonne, die das alles leistet; die fertig vorliegenden Ergebnisse sind aufgespeicherte, kapitalisierte Sonnenenergie.

Und welche Wohlthaten spendet der Menschheit das

diffuse Tageslicht! Auch dieses wäre ohne die durch die Zusammensetzung bedingten besonderen Eigentümlichkeiten der Atmosphäre nicht möglich!

Die Fähigkeit der letzteren als schützende Hülle zu dienen, wird durch die Bewegungen der Luft ungemein gefördert. Die Atmosphäre wirkt auf der Erdoberfläche auch als Wärmeverteilerin. Durch die Konvektion werden die Luftschichten in vertikaler, durch die allgemeine Zirkulation in horizontaler Richtung gemischt. Welch große Rolle dabei der Wasserdampf spielt, haben wir genügend erörtert. Mit jedem Millimeter Wasser, das pro Quadratmeter über dem Meere verdampft und als Niederschlag auf dem Lande niederfällt, wird vom Meere zum Land eine Wärmemenge übertragen, welche hinreicht, um etwa 2400 Kubikmeter Luft um 1° C zu erwärmen. Die über dem Lande stattfindende verstärkte Ausstrahlung wird dadurch wieder vollständig ausgeglichen.

So erkennen wir, daß jeder der einzelnen Hauptbestandteile der Atmosphäre eine Grundbedingung für das Leben bildet, wie es sich auf unserem Erdballe abspielt, und daß die Frage, ob auch auf diesem oder jenem Planeten ein organisches Leben möglich sei, mit der Frage zusammenfällt, ob derselbe eine Atmosphäre besitzt und wie dieselbe beschaffen sei.

§ 59. Beeinflussung des Wetters durch die Menschenhand.

Auch beim Wetter hat der Mensch versucht, durch künstliche Mittel dasselbe in einer, ihm günstigen Richtung zu beeinflussen. So aussichtlos einerseits ein solcher Versuch gegenüber den gewaltigen Kräften der Atmosphäre erscheint, so groß ist doch andererseits auch wieder die Versuchung dazu.

Was kann es Schlimmeres für den Landwirt geben, als unthätig zusehen müssen, wenn ein einziger Maifrost oder Hagelschlag oder abnorme Trockenheit seine schönsten Hoffnungen vernichtet?

In der That ist denn auch eine Bekämpfung der Frostgefahr nicht bloß möglich, sondern auch in der Praxis in Amerika, in Frankreich, Oesterreich u. s. w. mit dem besten Erfolge durchgeführt worden.

Wir haben als Ursache des Temperaturfalles bei Nacht die Ausstrahlung des Erdbodens kennen gelernt. Der Boden kühlt sich vor allem ab und erst mittelbar die darüber liegende Luft, und so kommt es denn auch, daß in der Regel in der Nacht — und besonders an Frosttagen — die Luft unmittelbar über dem Boden sehr kalt ist, dagegen in 2, 3 oder 4 m über dem Boden um mehrere Grade wärmer. Der Nachtfrost ist eine Erscheinung, die sich auf einen ungemein kleinen Teil der Atmosphäre beschränkt, und darum ist auch von vornherein seine Bekämpfung durchaus nicht aussichtslos.

Man hat nun mehrererlei Methoden dazu ersonnen. Man kann es versuchen, die abnorm kalte Luft direkt zu erwärmen durch Anfachung von Feuern; man kann es versuchen, die Ausstrahlung zu verhindern durch Erzeugung künstlicher Wolken; und man kann es endlich versuchen, die kalte Luft vom Boden zu entfernen, sei es durch eine Art Luft-Drainage, sei es durch künstliche Mischung der untersten Schichten mit der wärmeren, darüber befindlichen Luft.

Die zweifellos beste Methode, welche eigentlich alle drei besprochenen Arten der Bekämpfung in sich vereinigt, ist die, mit Hilfe kleiner qualmender Feuer, in denen möglichst wasserreiche Stoffe, wie Stallmist, nasses Laubwerk, Stroh, Teer u. s. w. verbrannt werden, Wolken zu erzeugen,

die sich unmittelbar über dem Boden bilden und den untersten Luftschichten Wärme zuführen.

Denken wir uns ein großes Kohlenfeuer, so würde die darüber befindliche Luft ungemein erhitzt, sie würde emporsteigen und die ganze Wärme ginge verloren und käme den unteren Schichten, die der Wärme am meisten bedürfen, fast gar nicht zu gute.

In vielen kleinen, qualmenden Feuern wird die Luft nicht sehr erwärmt, die meiste Wärme wird verbraucht zur Verdampfung des Wassers. In unmittelbarer Nachbarschaft, knapp über dem Boden wird sich das Wasser sofort in Dampfwolken wieder kondensieren, und schützt nicht bloß als Wolke vor der weiteren Ausstrahlung, er wird auch, da bei der Kondensation die ganze Wärme wieder frei wird gerade den unteren kalten Schichten einen großen Teil der erzeugten Wärme wirklich zuführen. Außerdem wird aber durch die vielen kleinen Feuer auch eine kräftige Mischung der Luft angeregt.

In Amerika hat man dies „Frosträuchern" meist so angestellt, daß man schon im voraus in entsprechenden Entfernungen Säcke mit Mist und dgl. aufgestellt hat und dann bei Frostgefahr ein kleines Quantum Petroleum darauf schüttete und das Feuer entflammte. In Oesterreich verwendet man meist Teer.

Es ist übrigens ein alter Brauch, den, wie A. v. Humboldt berichtet, schon die Indianer Perus anwendeten.

Gleichfalls alt und in manchen Gegenden tief in die Volksseele eingewurzelt ist der Brauch des „Wetterschießens" oder „Hagelschießens" zur künstlichen Bekämpfung der Hagelgefahr. Man schoß ursprünglich mit gewöhnlichen Böllern, in neueren Zeiten hat der Bürgermeister von

Windisch-Fliſtritz A. Stiger durch Aufſetzen eines koniſchen Eiſenblechtrichters die Wirkung zu verſtärken verſucht und dieſe neuen „Wetterwehrapparate“ haben ſich dann in ganz Steiermark, überhaupt in den Alpenländern, wo Wein gezogen wird, ganz beſonders aber in Italien ungemein raſch ausgebreitet. Das Eigentümliche bei dieſem Apparate iſt das Auftreten eines den Rauchringen ähnlichen Luftwirbelringes, der beim Schuß den Apparat verläßt und, wie ein Geſchoß pfeifend, bei den beſten Apparaten etwa 400 m hoch emporſchießt. Ihm wird die Wirkung zugeſchrieben.

Leider kann nun aber beim Wetterſchießen kaum von einem Erfolge geſprochen werden. Anfangs lagen ja viele Thatſachen vor, welche für das Wetterſchießen ſprachen, die neueren Erfahrungen ſind dagegen recht ungünſtige geweſen, und ſo hat ſich denn auch die glühende Begeiſterung für das Schießen, die urſprünglich in landwirtſchaftlichen Kreiſen vorhanden war, bedeutend verringert.

Auch von einer Erzeugung künſtlichen Regens kann keine Rede ſein. Bei Trockenheit kann künſtlicher Regen als unmöglich bezeichnet werden, weil uns die Kräfte nicht zur Verfügung ſtehen, die zu dieſem Behufe aufgewendet werden müßten. Die Verſuche, welche in Texas angeſtellt wurden, um durch Exploſionen künſtlich Regen zu erzeugen, ſind denn auch recht kläglich geſcheitert.

Namen und Sachregister.

Abercromby 131.
Ablenkende Kraft der Erdrotation 71.
Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe 11, 61.
Abnahme der Temperatur mit der Höhe 20, 55.
Absolute Feuchtigkeit 85.
Absorption 27, 39, 139.
Actinometer 30.
Airy 125.
Aitken 14, 98, 110, 138.
Alto-Cumulus 98.
Alto-Stratus 98.
Amplitude 47, 64.
Anemometer 69.
Aneroid-Barometer 60.
Angot 53.
Angströms Actinometer 31.
Anomalie 55.
Anticyklone 81, 130.
Arago'scher Punkt 120, 125.
Aspirations-Psychrometer
Aßmann, 45, 88, 94. [45.
Atmosphäre 10.
— Bedeutung derselben 136, 139.
— Höhe 62.
Atmosphär. Lichterscheinungen 119. [66.
Atmosphär. Schwingungen
Aufspeicherung von Energie 140.
Aufsteigen der Luft, Bedeutung desselben 19, 57, 93, 102, 109, 131.
Aufstellung der Thermometer 44. [88.
August'sches Psychrometer
Ausstrahlung der Erde 40, 140.

Babinet'scher Punkt 120,
Ballonfahrten 25, 57. [125.
Barograph 60.
Barometer 59.
— -Depressionen 79, 131.
— -Fallen 132.
— -Maxima 85, 130.
— -Minima 85, 131.
— -Zugstraßen 133, 136.
Bebber 133.
Bekämpfung der Frostgefahr 142.
Bekämpfung der Hagelgefahr 143.
Beobachtungsnetze 21.
Beobachtungsstunden 22,
Bergwind 75. [49.
Bewölkung, jährl. Gang 101.
— tägl. Gang 100.
— Schätzung 99.
Bezold 57, 84, 90, 99.
Billwiller 100.
Bishop'scher Ring 124.
Blanford 74
Blau des Himmels 119.
Blitz 117.
Blitzschläge 119.
Bolometer 34.
Bora 78.
Bouguer 33.
Braun 116.
Brewster'scher Punkt 120.
Buchan 53.
Busch 125.
Buys Ballot 129. [80.
Buys-Ballot'sches Gesetz

Calmenzone 72.
Campbell-Stokes'scher Sonnenscheinautograph 100.
Celsius-Thermometer 42.
Centralanstalten, meteorologische 8, 22.
Chamsin 78.
Cirro-Cumulus 96.
Cirro-Stratus 98.
Cirrus 95.
Clayton 101
Coffin 80.
Cumulo-Nimbus 98.
Cumulus 95.
Cyklonen 78, 131.

Dämmerung 120.
Dampfdruck 86, 92.
— bei Sättigung 86, 93.
Depressionen 79, 131.
De Romas 111.
Descartes 11, 127.
Diffuse Reflexion 39, 139
Donner 117.
Dove 49, 53, 73.
Durchlässigkeit der Atmosphäre 32, 34.

Elektrische Ladung der Atmosphäre 117.
— — der Erde 116.
Elektroskop 118.
Elmsfeuer 118.
Elster 114. [139.
Energiehaushalt der Erde
Erhaltungstendenz des Wetters 134.
Erman 112.
Espy 76.
Euler 120.
Exner Franz 113.
Exner Karl 122.

Fahrenheit-Thermometer
Falb 135. [42.
Fallen des Barometers 132.
False-Point-Cyklone 81.
Fergusson 101.
Ferrel 73, 80.
Feuchtigkeit 85.
— jährlicher Gang 92.
— täglicher Gang 91.
Flächen gleichen Drucks 26.

Flächenblitze 117.
Föhn 76.
Fortin-Barometer 60.
Franklin 112.
Fraunhofer 122.
Frostgefahr, Bekämpfung
Frosträuchern 142. [142.
Fundamentalabstand 42.
Furche tiefen Luftdruckes 132.

Geitel 114.
Gewitter 118. [117.
Gewitter-Elektrizität 112,
Gewitter-Nasen 118.
Gipfelstationen 24.
Glaisher 25.
Gradient 70
Graupel 105.
Grenze der Atmosphäre 62

Haarhygrometer 89.
Hadley 73.
Hagel 105. [selben 143.
Hagelgefahr, Abwehr der-
Hagelschießen 143.
Halo 122.
Hann 18, 48, 49, 53, 64, 70, 73, 75, 77, 83, 91,
Harmattan 78. [92, 94.
Hauptregenbogen 127.
Heberbarometer 60.
Hellmann 105, 123.
Hill 109.
Himmel, blaue Farbe 119.
Hof von Mond und Sonne 122.
Höhe der Atmosphäre 62
Höhe der Wolken 101.
Höhenmessung, barometr.
Houdaille 111. [61.
Humboldt, A. v. 52.
Hutton 94.
Hygrograph 89.
Hygrometer 89.

Jesse 126
Isanomalen 55.
Isobaren 63, 130.
Isonephen 102.
Isothermen 53.

Kalte Bänder im Sonnenspektrum 36, 39.
Kämtz 122
Keil hohen Luftdrucks 132.
Kießling 124.
Klein, Herm. 134.
Klimatologie 10.
Kondensation 93.
Konvection 48, 58, 141.
Köppen 76. [89.
Koppes Haarhygrometer
Kosmische Einflüsse auf das Wetter 135. [126.
Krakatau-Ausbruch 124,
Kreislauf des Wassers 138.
Kritische Tage 135
Kugelblitze 117.
Künstlicher Regen 144.
Künstliche Beeinflussung des Wetters 141.

Lambrechts Polymeter 89.
Lamont 49.
Landwind 74.
Langley 34, 39.
Lechner 24, 119.
Lemonnier 112.
Lenard 117.
Leuchtende Nachtwolken
Leveche 78. [125.
Leverrier 130.
Lockyer 124.
Loomis 109.
Luft, Ausdehnung 17.
— Bedeutung ihrer Zusammensetzung 136.
— Bestandteile 12. [18.
— Erwärmung durch Druck
— Physikal. Eigenschaften
— Spez. Gewicht 12. [17.
Luftdruck 11, 59.
— Abnahme mit der Höhe 11, 61.
— jährlicher Gang 64.
— täglicher Gang 64.
Luftdruckverteilung 63.
Luftelektrizität 111.
— Abhängigkeit vom Dampfdruck 115.
— Abhängigkeit von der Temperatur 116.

Marcano 139.
Margules 66.
Mariotte-Gay-Lussac'sches Gesetz 18.
Maurer 40.
Mauritius-Cyklone 81.
Maximum-Minimum-Thermometer 43.
Mazeas, Abbé 111.
Meteorologische Elemente
— Institute 8, 23. [22.
Mistral 78.
Mitteltemperaturen 48, 53.
Möller 74
Mondeinfluß auf das Wetter 135.
Mond-Höfe und -Ringe
Monsune 74. [122, 131.
Müntz 139.

Naudet 60.
Nebel 93, 99. [123
Neben-Monde und -Sonnen
Neben-Regenbogen 127.
Neutrale Punkte 120
Niederschlag 102.
— Abhängigkeit vom Ter-
— Arten 105. [rain 110.
Niederschlagshöhe 103, 108.
Nimbus 98.
Nordenskiöld 16.
Nordlicht 125.
Nullpunkt-Verschiebung bei Thermometern 42.

Oberbeck 78.
Obermayer 119.
Ombrometer 103.
Oppolzer 84.

Pascal 11, 61.
Paschen 39.
Passat 71.
Passatstaub 17.
Paulsen 128.
Peltier 112. [124, 128.
Pernter 74, 94, 100, 122,
Polarisation des Himmelslichtes 120, 125.
Polarlicht 128.
Polarstaub 17.
Polymeter 89.
Potentialgefälle 113.
Precht 55.
Prognosen 129.
Psychrometer 45, 88.
Purpurlicht 121, 124.

Ramsay 12.
Raureif 111.
Rayleigh Lord 12, 66, 120
Réaumur-Thermometer 42
Regen 105.

Regen, künstlicher 144.
Regenbogen 126.
Regenmengen 108.
Regenmesser 102.
Regentropfen, Größe 95, Schweben 94. [122.
Registrierballons 25, 57.
Reif 111.
Relative Feuchtigkeit 86.
Richard 43, 60, 89.
Riggenbach 110, 124.
Ring von Mond u. Sonne 122, 131.
Roßbreiten 102.
Russel 110.

Samum 78.
Sattel hohen Druckes 132.
Sättigung, Dampfspannung 86, 93.
Sättigungs-Defizit 88.
Scheele 12.
Schnee 105.
Schneeflocken 104. [94.
Schweben der Regentropfen
Schwere Correction beim Barometer 60.
Schwingungen der Atmosphäre 66.
Scirocco 78.
Seewind 74.
Siedethermometer 61.
Siemens 74.
Sigson 104.
Solarconstante 29, 37.
Sonne, Temperatur 38.
—, Wichtigkeit für die Erde 140.
Sonnenflecken, Einfluß auf das Wetter 135.
Sonnen-Höfe und -Ringe 122, 131. [100.
Sonnenschein-Autograph
Sonnenschein-Dauer 32, 100. [tät 35.
Sonnenspektrum, Intensi-
Sonnenstrahlung, Intensität 32.
Spitaler 53.
Sprung 74.
Stationen, Anzahl 22.
Stationen auf Bergen 24.
Stationsbarometer 59.
Staub, Arten 16.
— Bedeutung 93, 124, 138.
Staubteilchen, Zahl 14.
Stiger 144.
Strahlung 26. [40.
Strahlung der Atmosphäre
Strato-Cumulus 98.
Stratus 95.

Tageslicht 119, 139.
Tagesmittel der Temperatur 49.
Tau 110.
Taupunkt 87, 110.
Teifune 80.
Teisserenc de Bort 101.
Temperatur 41.
— auf Landhemisphäre 54.
— auf Wasserhemisphäre 54.
— „in der Sonne" 46.
— der Sonne 38.
— des Weltraums 40.
Temperaturabnahme mit der Höhe 20, 55, 77.
Temperatur-Correction beim Barometer 60.
Temperaturgang, jährl. 50.
— tägl. 46.
Temperatur-Umkehr 56.
Thalwind 75.
Thermographen 43.
Thermometer 41.
— -Beschirmung 45.
— -Hütte 44.
Toricelli's Versuch 10, 59.
Tornados 79.
Tromben 79.

Uebersättigung 92. [198.
Ueberzählige Regenbogen
Unterkaltung 93.

Verdampfung 89.
Verdunstungswage 90.
Vettin 83.
Violle 34
Violle's Actinometer 30.
Viviani 10.

Wasser, Kreislauf 138.
Wasserdampf, Rolle in der Atmosph. 90, 138. 141.
Wellen in der Atmosphäre 66.
Wellenlängen im Sonnenspektrum 35.
Wells 110
Wetter 129.
— Erhaltungstendenz 134.
Wetterkarten 130.
Wetterlehre 9, 129.
Wetterleuchten 117.
Wetterprognosen 129.
— — Erfolge 133.
Wetterregeln 132.
Wild'sche Verdunstungswage 90.
Wind 69.
Windfahne 69. [101.
Windgeschwindigkeit 69, 75,
—, jährl. Gang 76.
—, tägl Gang 75.
Windrichtung 69.
Wolken 95.
— Formen 95.
— Höhe 101.
— Schweben 94.
— Spiegel 101.
Wollny 110.

Zenker 54.
Zickzackblitze 117.
Zirkulation, allg. d. Atm. 71, 101, 141.
Zugstraßen der Barometer-Minima 132, 136.
Zusammensetzung der Atmosphäre 12.
— — Bedeutung 137.

Im Anschluß hieran erschien:

Klimalehre

von **Prof. Dr. W. Köppen.**

(Sammlung Göschen Nr. 114.) Preis: Gebd. 80 Pfg.

In der Mittelstellung zwischen Physik und Geographie, die die Meteorologie einnimmt, fällt dem klimatologischen Zweige derselben der überwiegend geographische, der Meteorologie im engen Sinne aber der vorwiegend physikalische Standpunkt zu. In diesem Sinne schließt sich hier der Meteorologie von Dr. Trabert obiges Bändchen an, das die allgemeine Klimatologie in der gedrängten, durch den Plan des Unternehmens vorgeschriebenen Kürze darlegt. Ihm soll bald die Klimakunde der einzelnen Länder als weiteres Bändchen folgen. Die Aufgabe dieser kleinen Schriften ist, die Grundzüge der Wissenschaft in möglichster Prägnanz und Knappheit vorzuführen. An manchen Stellen hat aber dabei dem Verfasser eine neue Darstellungsweise vorteilhaft geschienen, die vielleicht einige bis jetzt zu wenig berücksichtigte Punkte zu besserer Geltung bringt. Den Fragen der Wärmeökonomie, der Zufuhr und Abfuhr von Wärme in der untersten Luftschicht und der Erdoberfläche resp. in den Objekten auf dieser ist Beachtung geschenkt, die Hauptsätze, die die horizontale und vertikale Temperaturverteilung in der Atmosphäre bestimmen, sind zu möglichst präzisem Ausdruck gebracht, die Windverhältnisse der Erde in ihren Grundzügen nach dem von W. M. Davis vorgeschlagenen Schema gegliedert, die Regengürtel der Erde und ihre Störung durch die Festländer im Text und in einem Kärtchen zur Darstellung gebracht.

In einem der ersten Kapitel gibt das Büchlein Winke für die Anstellung einfacher meteorologischer Beobachtungen und die Ausführung klimatologischer Untersuchungen, wie solche häufig auch dem Nichtmeteorologen — Ärzte, Statistiker 2c. — zufallen.

In den beiden letzten Kapiteln werden die Kombinationen der im vorhergehenden im einzelnen betrachteten klimatischen Elemente behandelt, nämlich einerseits die klimatischen Typen: Landklima und Seeklima, Wüstenklima, Küstenklima und Monsunklima, Gebirgsklima und Höhenklima, andererseits die klimatischen Zonen. Der Gegensatz, in dem die „gemäßigten" oder, besser Jahreszeiten-Zonen zur winterlosen Tropenzone einerseits und zu den Zonen ewigen Winters andererseits stehen, wird scharf hervorgehoben und der tiefgehende Einfluß dieser Bedingungen auf die menschliche Kultur auseinandergesetzt.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung in Leipzig.

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Pädagogik im Grundriß von Prof. Dr. W. Rein, Direktor des Pädagog. Seminars an der Universität Jena. Nr. 12.

— **Geschichte der,** von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.

Paläontologie von Dr. Rud. Hoernes Professor an der Universität Graz. Mit 87 Abbildungen. Nr. 95.

Perspektive nebst einem Anhang über Schattenkonstruktion und Parallelperspektive von Architekt Hans Freyberger, Fachlehrer an der Kunstgewerbeschule in Magdeburg. Mit 88 Abbildungen. Nr. 57.

Petrographie von Dr. W. Bruhns, Prof. an der Universität Straßburg i. E. Mit 15 Abbild. Nr. 178.

Pflanze, Die, ihr Bau und ihr Leben von Oberlehrer Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.

Pflanzenbiologie von Dr. W. Migula, Prof. an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbild. Nr. 127.

Pflanzen-Morphologie, -Anatomie und -Physiologie von Dr. W. Migula, Professor an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

Pflanzenreich, Das. Einteilung des gesamten Pflanzenreichs mit den wichtigsten und bekanntesten Arten von Dr. F. Reinecke in Breslau und Dr W. Migula, Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Figuren. Nr. 122.

Pflanzenwelt, Die, der Gewässer von Dr W. Migula, Prof. an der Techn Hochschulu Karlsruhe. Mit 50 Abbildungene Nr. 158.

Philosophie, Einführung in die. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie v. Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Photographie. Von Prof. H. Keßler, Fachlehrer an d. k. k. Graph. Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Tafeln und 52 Abbild. Nr. 94.

Physik, Theoretische, I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

— — II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

— — III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 83 Abbild. Nr. 78.

Plastik, Die, des Abendlandes von Dr. Hans Stegmann, Konservator am German. Nationalmuseum zu Nürnberg. Mit 23 Tafeln. Nr. 116.

Poetik, Deutsche, von Dr. K. Borinski, Doz. a. d. Univ München. Nr. 40.

Posamentiererei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Ind. zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr 185.

Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Psychophysik, Grundriß der, von Dr. G. F. Lipps in Leipzig. Mit 3 Figuren. Nr. 98.

Rechnen, Kaufmännisches, von Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139. 140. 187.

Rechtslehre, Allgemeine, von Dr. Th. Sternberg in Charlottenburg. I: Die Methode. Nr. 169.

— II: Das System. Nr. 170.

Redelehre, Deutsche, v. Hans Probst, Gymnasiallehrer in München. Mit einer Tafel. Nr. 61.

Religionsgeschichte, Indische, von Professor Dr. Edmund Hardy in Bonn. Nr. 83.

— — siehe auch Buddha.

Religionswissenschaft, Abriß der vergleichenden, von Prof. Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Russisch-Deutsches Gesprächsbuch von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 68.

Russisches Lesebuch mit Glossar von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 67.

— — siehe auch: Grammatik.

Sachs, Hans, u. Johann Fischart, nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt und erläutert v. Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.

Schmarotzer und Schmarotzertum in der Tierwelt. Erste Einführung in die tierische Schmarotzerkunde von Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. an der Universität Gießen. Mit 67 Abbildungen. Nr. 151.

Schulpraxis. Methodik der Volksschule von Dr. R. Seyfert, Schuldirektor in Olsnitz in V. Nr. 50.

Simplicius Simplicissimus von H. Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl hrsg. v. Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.

Soziologie von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 101.

Spitzenfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.

Sprachdenkmäler, Gotische, mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Herm. Jantzen in Breslau. Nr. 79.

Sprachwissenschaft, Indogermanische, von Dr. R. Meringer, Prof. a. d. Universität Graz. Mit einer Tafel. Nr. 59.

— **Romanische,** von Dr. Adolf Zauner, k. k. Realschulprofessor in Wien. Nr. 128.

Stammeskunde, Deutsche, von Dr. Rudolf Much, Privatdozent an der Universität Wien. Mit 2 Karten und 2 Tafeln. Nr. 126.

Statik, I. Teil: Die Grundlehren der Statik starrer Körper von W. Hauber, diplom. Ingenieur. Mit 82 Fig. Nr. 178.

— — **II. Teil:** Angewandte Statik. Mit 61 Figuren. Nr. 179.

Stenographie. Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einigungssystem Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Lesestücken und einem Anhang von Dr. Amsel, Oberlehrer des Kadettenhauses in Oranienstein. Nr. 86.

Stereochemie von Dr. E. Wedekind, Privatdozent an der Universität Tübingen. Mit 34 Abbild. Nr. 201.

Stereometrie von Dr. R. Glaser in Stuttgart. Mit 44 Figuren. Nr. 97.

Stilkunde von Karl Otto Hartmann, Gewerbeschulvorstand i. Lahr. Mit 7 Vollbildern und 195 Textillustrationen. Nr. 80.

Technologie, Allgem. chemische, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.

Teerfarbstoffe, Die, mit besonderer Berücksichtigung der synthetischen Methoden von Dr. Hans Bucherer, Privatdozent an der Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 214.

Telegraphie, Die elektrische, von Dr. Ludwig Rellstab. Mit 19 Fig. Nr. 172.

Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentierei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Dir. der Königlichen Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Tierbiologie I: Entstehung u. Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Prof. a. d. Universität Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.

— **II:** Beziehungen d. Tiere zur organischen Natur v. Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Tierkunde v. Dr. Franz v. Wagner, Professor an der Universität Gießen. Mit 78 Abbildungen. Nr. 60

Trigonometrie, Ebene und sphärische von Dr. Gerh. Hessenberg, Privatdoz. an der Techn. Hochschule in Berlin. Mit 70 Fig. Nr 99

Unterrichtswesen, Das öffentliche, Deutschlands in d. Gegenwart von Dr. Paul Stötzner, Gymnasialoberlehrer in Zwickau. Nr. 130.

Urgeschichte der Menschheit von Dr. Moritz Hoernes, Prof. an der Univ. Wien. Mit 48 Abb. Nr. 42.

Versicherungsmathematik von Dr. Alfred Loewy, Prof. an der Univ. Freiburg i. B. Nr. 180.

Völkerkunde von Dr. Mich. Haberlandt, Privatdozent an der Universf. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.

Volkslied, Das deutsche, ausgew und erläutert von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 25.

Volkswirtschaftslehre v. Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Freiburg i. B. Nr. 133.

Volkswirtschaftspolitik von Geh. Regierungsrat Dr. R. van der Borght, vortr. Rat im Reichsamt des Innern in Berlin. Nr. 177.

Waltharilied, Das, im Versmaße der Urschrift übersetzt und erläutert von Professor Dr. H. Althof, Oberlehrer am Realgymnasium in Weimar. Nr. 46.

Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und a. d. Techn. Hochsch. in Stuttgart. Nr. 23.

Wärme. Theoret. Physik. II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

Weberei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.

Wechselkunde von Dr. G. Funk in Mannheim. Mit vielen Formularen. Nr. 103.

Wirkerei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Wolfram von Eschenbach. Hartmann v. Aue, Wolfram v. Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Professor am Königl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. P. Nr. 22.

Wörterbuch, Deutsches, von Dr. Ferdinand Detter, Professor a. der Universität Prag. Nr. 64.

Zeichenschule von Prof K. Kimmich in Ulm. Mit 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck und 135 Voll- und Textbildern. Nr. 39.

Zeichnen, Geometrisches, von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearbeit. von Prof. J. Vonderlinn, dipl. u. staatl. gepr. Ingenieur in Breslau. Mit 290 Fig. und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

Sammlung Schubert.

Sammlung mathematischer Lehrbücher,

die, auf wissenschaftlicher Grundlage beruhend, den Bedürfnissen des Praktikers Rechnung tragen und zugleich durch eine leicht fassliche Darstellung des Stoffs auch für den Nichtfachmann verständlich sind.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Bände:

1 **Elementare Arithmetik und Algebra** von Prof. Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 2.80.

2 **Elementare Planimetrie** v. Prof. W. Pflieger in Münster i. E. M. 4.80.

3 **Ebene und sphärische Trigonometrie** von Dr. F. Bohnert in Hamburg. M. 2.—.

4 **Elementare Stereometrie** von Dr. F. Bohnert i. Hamburg. M. 2.40.

5 **Niedere Analysis I. Teil: Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Kettenbrüche und diophantische Gleichungen** von Professor Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 3.60.

6 **Algebra mit Einschluß der elementaren Zahlentheorie** von Dr. Otto Pund in Altona. M. 4.40.

7 **Ebene Geometrie der Lage** von Professor Dr. Rud. Böger in Hamburg. M. 5.—.

8 **Analytische Geometrie der Ebene** von Prof. Dr. Max Simon in Straßburg. M. 6.—.

9 **Analyt. Geometrie d. Raumes I. Teil: Gerade, Ebene, Kugel** von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 4.—.

10 **Differentialrechnung** von Prof. Dr. Frz. Meyer in Königsberg. M. 9.—.

12 **Elemente der darstellenden Geometrie** von Dr. John Schröder in Hamburg. M. 5.—.

13 **Differentialgleichungen** v. Prof. Dr. L. Schlesinger in Klausenburg. 2. Auflage. M. 8.

14 **Praxis der Gleichungen** von Professor C. Runge in Hannover. M. 5.20.

19 **Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichungs-Rechnung** von Dr. Norbert Herz in Wien. M. 8.—.

20 **Versicherungsmathematik** von Dr. W. Großmann i. Wien. M. 5.—.

25 **Analytische Geometrie des Raumes II. Teil: Die Flächen zweiten Grades** von Prof. Dr. Max Simon in Straßburg. M. 4.40.

27 **Geometrische Transformationen I. Teil: Die projektiven Transformationen nebst ihren Anwendungen** von Professor Dr. Karl Doehlemann in München. M. 10.—

29 **Allgemeine Theorie der Raumkurven und Flächen I. Teil** von Professor Dr. Viktor Kommerell in Reutlingen und Professor Dr. K. Kommerell i. Heilbronn. M. 4.80

31 **Theorie d. algebraischen Funktionen und ihrer Integrale** von Oberlehrer E. Landfriedt in Straßburg. M. 8.50.

Sammlung Schubert

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

32 **Theorie u. Praxis der Reihen** von Prof. Dr. C. Runge in Hannover. M. 7.—.

34 **Liniengeometrie mit Anwendungen I. Teil** v. Professor Dr. Konr. Zindler i. Innsbruck. M. 12.

35 **Mehrdimensionale Geometrie I. Teil: Die linearen Räume** von Professor Dr. P. H. Schoute in Groningen. M. 10.—.

39 **Thermodynamik I. Teil** v. Prof. Dr. W. Voigt i. Göttingen. M. 10.—.

40 **Mathematische Optik** von Dr. J. Classen in Hamburg. M. 6.—.

41 **Theorie der Elektrizität u. des Magnetismus I. Teil: Elektrostatik u. Elektrokinetik** v. Prof. Dr. J. Classen i. Hamburg. M. 5.—.

44 **Allgemeine Theorie d. Raumkurven u. Flächen II. Teil** von Prof. Dr. Viktor Kommerell in Reutlingen und Professor Dr. Karl Kommerell in Heilbronn. M. 5.80.

45 **Niedere Analysis II. Teil: Funktionen, Potenzreihen, Gleichungen** v. Prof. Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 5.80.

46 **Thetafunktionen und hyperelliptische Funktionen** v. Oberlehrer E. Landfried in Straßburg. M. 4.50.

In Vorbereitung bezw. projektiert sind:

Integralrechnung von Prof. Dr. Franz Meyer in Königsberg.

Elemente der Astronomie von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.

Mathematische Geographie von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.

Darstellende Geometrie II. Teil: Anwendungen d. darstellenden Geometrie von Professor Erich Geyger in Kassel.

Geschichte der Mathematik von Prof. Dr. A. v. Braunmühl und Prof. Dr. S. Günther in München.

Dynamik von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.

Technische Mechanik von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.

Geodäsie von Prof. Dr. A. Galle in Potsdam.

Allgemeine Funktionentheorie v. Dr. Paul Epstein in Straßburg.

Räumliche projektive Geometrie.

Geometrische Transformationen II. Teil v. Prof. Dr. Karl Doehlemann in München.

Theorie d. höheren algebraischen Kurven.

Elliptische Funktionen.

Allgemeine Formen- u. Invariantentheorie von Professor Dr. Jos. Wellstein in Gießen.

Mehrdimensionale Geometrie II. Teil von Prof. Dr. P. H. Schoute in Groningen.

Liniengeometrie II. Teil v. Prof. Dr. Konrad Zindler in Innsbruck.

Kinematik von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.

Angewandte Potentialtheorie von Oberlehrer Grimsehl in Hamburg.

Theorie der Elektrizität und des Magnetismus II. Teil: Magnetismus u. Elektromagnetismus von Professor Dr. J. Classen in Hamburg.

Thermodynamik II. Teil v. Prof. Dr. W. Voigt in Göttingen.

Elektromagnet. Lichttheorie von Prof. Dr. J. Classen i. Hamburg.

Gruppen- und Substitutionentheorie von Prof. Dr. E. Netto in Gießen.

Theorie d. Flächen dritt. Ordnung.

Mathematische Potentialtheorie.

Festigkeitslehre f. Bauingenieure v. Dr. ing. H. Reißner in Berlin.

Göschens Kaufmännische Bibliothek

Sammlung praktischer kaufmännischer Handbücher, die nach ihrer ganzen Anlage berufen sein sollen, sowohl im kaufmännischen Unterricht als in der Praxis wertvolle Dienste zu leisten.

Bd. 1: **Deutsche Handelskorrespondenz** von **Robert Stern**, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Dozent an der Handelshochschule zu Leipzig. Geb. Mk. 1.80.

Bd. 2: **Deutsch-Französische Handelskorrespondenz** von Prof. **Th. de Beaux**, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Geb. Mk. 3.—.

Bd. 3: **Deutsch-Englische Handelskorrespondenz** von **John Montgomery**, Director, and Hon-Secy, City of Liverpool School of Commerce, University College in Liverpool. Geb. Mk. 3.—.

Bd. 4: **Deutsch-Italienische Handelskorrespondenz** von Professor **Alberto de Beaux**, Oberlehrer am Königl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Geb. Mk. 3.—.

Bd. 5: **Deutsch-Portugiesische Handelskorrespondenz** von **Carlos Helbling**, Professor am Nationalkolleg u. am poytechn. Liceum i. Lissabon. Geb. Mk. 3.—.

Die Zeichenkunst

Methodische Darstellung des gesamten Zeichenwesens

Herausgegeben von **Karl Kimmich.**

Unter Mitwirkung von **A. Andël. A. Cammissar, Ludwig Hans Fischer, M. Fürst, Otto Hupp, Albert Kull, Konrad Lange, Adalbert Micholitsch, Adolf Möller, Paul Naumann, Fritz Reiss, A. v. Saint-George, A. Stelzl, R. Trunk, J. Vorderlinn** u. anderen.

Zwei starke Bände mit 1091 Text-Illustrationen sowie 56 Farb- und Lichtdrucktafeln.

Preis: Gebunden Mark 25.—.

Auch in 23 Heften à Mk. 1.— zu beziehen.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung in Leipzig.

...s. II Di Do. (9-10) Asien Ma...

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung
in Leipzi...

YA 01152

Elemente der St...

von

Prof. Dr. Gustav Holzmüller.

...and: Die Lehrsätze und Konstruktionen. Mit 282 Figuren. Preis broschiert Mk. 6.—, gebunden Mk. 6.60.

...Band: Die Berechnung einfach gestalteter Körper. Mit 156 Figuren. Preis broschiert Mk. 10.—, gebunden Mk. 10.80.

...Band: Die Untersuchung und Konstruktion schwierigerer Raumgebilde. Mit 126 Figuren. Preis broschiert Mk. 9.—, gebunden Mk. 9.80.

921884 QC860
P7

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

...ssig und wird somit an Vielseitigkeit und Gediegen-
...t des Inhalts wohl von keinem der hervorragenderen
...hrbücher erreicht.